

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DESIGN PRO OSOBY S KATARAKTOU
DESIGN FOR PEOPLE WITH CATARACT

LIBEREC 2011

YVETA ŠMÍDKOVÁ

KOD/2011/06/12/MS

P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 12. 5. 2011

Podpis

Poděkování

Především děkuji vedoucímu své diplomové práce Doc. Ing. Michalu Vikovi Ph.D. za jeho ochotu a vstřícný přístup při zpracování diplomové práce a zapůjčení koloristické skříně Gretag – Magbeth Judge II a sady pro Farnsworth – Munsell 100 Hue Test.

Děkuji Ing. Martině Vikové za poskytnuté konzultace, dále primáři očního oddělení nemocnice Liberec MUDr. Petrovi Bulířovi za poskytnuté rady a umožnění měření pacientů před a po operaci katarakty. Děkuji personálu očního oddělení nemocnice Liberec za shovívavost a pomoc.

Dále chci poděkovat Ing. Vítu Jonášovi za pomoc s tvorbou programu pro simulaci vad barvocitu a podnětné připomínky. V neposlední řadě děkuji Ing. Jindře Porkertové za poskytnuté rady se statistickým zpracováním dat.

Abstrakt

Práce se zabývá studií rozlišování barev u skupiny osob s kataraktou - šedým zákallem. Měření rozlišování barev se provádělo pomocí FM 100 Hue testu.

Vyhodnocovalo se procentuální zlepšení vnímání barev před a po operaci katarakty a porovnávaly se výsledky rozlišování barev mezi osobami s kataraktou a osobami bez katarakty. Dále se pro zvolené skupiny osob s kataraktou určily oblasti, ve kterých byly barvy rozlišovány s nejmenší úspěšností. Výsledky se také porovnávaly s charakteristikami vad vnímání barev.

Simulace sníženého vnímání barev se uskutečnila pomocí počítačového programu Color Vision Filter. Navržené postupy programu umožňují podle výsledků FM 100 Hue testu přetransformovat scénu do barev, jak je vidí testovaná osoba.

Získané znalosti je možné dále využít pro specifický design určený osobám se sníženým vnímáním barev.

This work investigates the color discrimination in a group of persons with cataract. Measurement of color discrimination was made using FM 100 Hue test.

Author evaluated the percentage improvement in color perception before and after cataract surgery and compared the results of color discrimination between persons with cataract and persons without cataract. Furthermore, for selected groups of people with cataract have been identified the areas in which they distinguished colors with the least success. The results are then compared with the characteristics of color vision defects.

Simulation of a reduced color perception was carried out using the computer program Color Vision Filter. Designed procedures allow the program to transform the scene into colors according to the results of FM 100 Hue test, as seen by the tested person.

Gained knowledge can be used for specific design for persons with low color discrimination.

Klíčová slova

Oko

Fyziologie

Katarakta

Barva

Barvocit

Farnsworth – Munsell 100 Hue test

Vada

Keywords

Eye

Physiology

Cataract

Colour

Colour perception

Farnsworth – Munsell 100 Hue test

Defect

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Klíčová slova.....	6
Seznam použitých symbolů.....	10
Úvod.....	11
1 Stavba oka.....	12
1.1 Oční bulbus.....	13
1.1.1 Zevní vazivová vrstva.....	13
1.1.1.1 Bělima.....	13
1.1.1.2 Rohovka.....	13
1.1.2 Prostřední vrstva.....	14
1.1.2.1 Cévnatka.....	14
1.1.2.2 Řasnaté těleso.....	15
1.1.2.3 Duhovka.....	15
1.1.3 Vnitřní vrstva oka.....	15
1.1.3.1 Sítnice.....	15
1.2 Obsah oční koule.....	16
1.2.1 Čočka.....	16
1.2.2 Sklivec.....	17
1.2.3 Oční komora.....	17
1.3 Přídavné oční orgány.....	17
2 Katarakta.....	18
2.1 První popis zákalu čočky.....	18
2.2 Vznik katarakty.....	18
2.2.1 Katarakty vrozené a dětské.....	19
2.2.1.1 Kongenitální katarakta.....	19
2.2.1.2 Infantilní katarakta.....	19
2.2.2 Katarakta podmíněná věkem.....	19
2.2.2.1 Nukleární katarakta.....	20
2.2.2.2 Kortikální katarakta.....	20
2.2.2.3 Zadní subkapsulární katarakta.....	21
2.2.2.4 Další typy senilních katarakt.....	21
2.2.3 Katarakty indukované léky.....	21
2.2.4 Traumatická katarakta.....	22
2.2.5 Metabolická katarakta.....	22
2.2.6 Katarakty u zánětlivých onemocnění oka.....	22
2.3 Léčba katarakty.....	22
2.3.1 Vývoj chirurgie katarakty.....	23
2.3.2 Chirurgická léčba katarakty.....	23
2.3.2.1 Intrakapsulárně.....	24
2.3.2.2 Extrakapsulárně.....	24
2.4 Umělá nitrooční čočka.....	26

2.4.1 Implantace umělých nitroočních čoček.....	26
2.4.2 Dioptrické zařízení oka.....	27
3 Vliv katarakty na zrak.....	28
3.1 Objektivní vyšetření šedého zákalu.....	28
3.2 Subjektivní příznaky šedého zákalu.....	29
3.2.1 Zraková ostrost.....	29
3.2.2 Oslnění.....	29
3.2.3 Zorné pole.....	29
3.2.4 Myopický posun.....	29
3.2.5 Mononukleární diplopie.....	29
3.3 Objektivní příznaky šedého zákalu.....	30
3.3.1 Zraková ostrost.....	30
3.3.2 Citlivost na kontrast.....	31
3.3.3 Oslnění.....	31
3.3.4 Adaptace na tmu.....	31
4 Lidské oko a vidění.....	32
4.1 Fotochemie vidění.....	32
4.1.1 Fotoreceptory.....	33
4.1.1.1 Tyčinky.....	33
4.1.1.2 Čípky.....	33
4.2 Vnímání barev.....	34
4.2.1 Barevný tón.....	35
4.2.2 Čistota.....	35
4.2.3 Jas.....	35
4.2.4 Míšení barev.....	35
4.2.5 Purkyňova oblast.....	36
4.3 Barvocit.....	36
4.3.1 Poruchy barvocitu.....	36
4.3.2 Vady ovlivňující barvocit.....	37
4.3.2.1 Chromatická aberace.....	38
4.3.2.2 Sférická aberace.....	38
4.3.2.3 Nystagmus.....	38
4.3.2.4 Úplná barvoslepost.....	38
4.3.2.5 Dichromatické vnímání barevutlumen.....	38
4.3.2.6 Trichromatické anomální vnímání barev	39
5 Design pro pomoc.....	40
5.1 Osvětlení.....	40
5.2 Barva světla a předmětů.....	40
6 Experimentální část.....	41
6.1 Farnsworth – Munsell 100 Hue Test.....	42
6.1.1 Materiál.....	42
6.2 Kolorimetrická skříň GretagMacbeth Judge II.....	43
6.3 Použití FM 100 Hue Testu.....	44
6.3.1 Vyhodnocování výsledků pomocí FM Hue Test Scoring Software.....	45
6.3.2 Výstupní data.....	46
6.3.2.1 Polární graf.....	46
6.3.2.2 Lineární graf.....	48
6.3.3 Interpretace dat.....	49

6.3.3.1 Vynikající diskriminace.....	49
6.3.3.2 Průměrná diskriminace.....	49
6.3.3.3 Nízká diskriminace.....	49
7 Hodnoty měření barvocitu.....	50
7.1 Úspěšnost operace šedého zákalu z hlediska barevného vidění.....	50
7.2 Testování homogenity.....	51
7.3 Změna barvocitu osob s kataraktou.....	52
7.3.1 Muži.....	52
7.3.1.1 Muži před operací katarakty.....	54
7.3.1.2 Muži po operaci katarakty.....	55
7.3.2 Ženy.....	57
7.3.2.1 Ženy před operací katarakty.....	59
7.3.2.2 Ženy po operaci katarakty.....	60
7.4 Změna barvocitu u osob z průzkumu.....	62
7.4.1 Muži.....	62
7.4.2 Ženy.....	65
7.5 Výsledky	68
7.6 Zhodnocení výsledných grafů.....	69
7.7 Porovnání výsledků vad barvocitu	74
8 Program Color Vision Filter.....	76
8.1.1 Oblasti záměny barev.....	76
8.1.2 Zpracování barev.....	78
8.1.3 Možná vylepšení.....	79
8.1.4 Zhodnocení.....	79
8.1.5 Další možnosti a doporučení pro simulace vad barvocitu.....	79
Závěr.....	81
Literatura.....	82
Seznam obrázků.....	85
Seznam tabulek.....	86
Seznam příloh.....	87

Seznam použitých symbolů

obr.	obrázek
FM	Farnsworth – Munsell
atd.	a tak dále
apod.	a podobně
nm	nanometr
D	dioptrie
resp.	respektivě
např.	například
tzv.	tak zvaný
lx	lux

Úvod

Důvodem výběru diplomové práce byl zájem o nové poznatky ve vnímání barev u osob s kataraktou, které se dají využít pro specificky zaměřený design. Určeným cílem pak bylo získat reálnou představu o barevném pojetí návrhu osobami s kataraktou a bez katarakty.

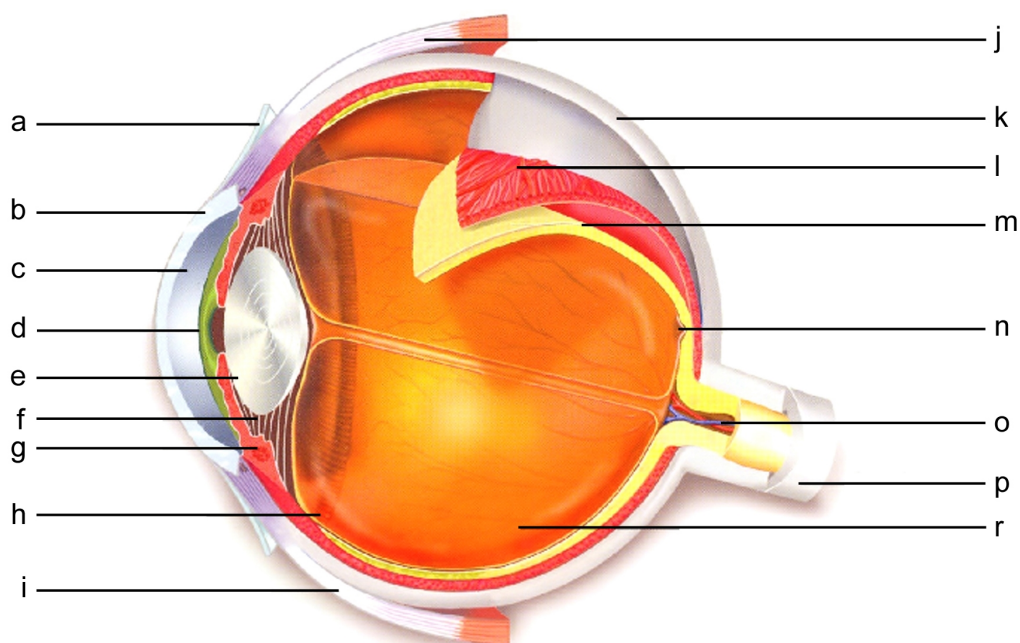
Katarakta je jednou z hlavních příčin, které vedou ke zhoršení zraku. Patří do zákalů čočky, které způsobují zhoršení zrakových funkcí. Katarakta brání průchodu světelných paprsků k tyčinkám sítnice. V rozvojových zemích se řadí mezi nejčastější důvody slepoty, protože chybí kvalifikovaní lékaři, finanční zdroje a sterilita prostředí. Kvůli vysokému výskytu katarakty u osob nad 65 let je důležité, zabývat se jejím vlivem na snížené vnímání barev.

Jedním z cílů diplomové práce je zjistit, zda operace osobám s kataraktou pomůže zlepšit vnímání barev a stanovit odstíny, které osoby nejvíce zaměňují. Hodnoty barvocitu u skupiny žen a mužů s kataraktou se budou porovnávat s výsledky získanými od osob bez diagnostikované katarakty, a to u skupiny žen do 50 let, mužů do 50 let, žen nad 50 let a mužů nad 50 let. Dále se budou hledat nejčastější oblasti, ve kterých dochází k zaměňování barev mezi jednotlivými skupinami osob. Pro simulaci sníženého vnímání barev se budou hledat vhodné postupy, jak záměny barev a nízkou rozlišovací schopnost barev promítnout na počítači do obrázků.

K měření vnímání barev lze použít mnoho postupů. Pro účely této práce byl vybrán FM 100 Hue Test a koloristická skříň GretagMacbeth Judge II. Přístroje zapůjčila katedra Textilní chemie Technické univerzity Liberec. Měření barvocitu pacientů se uskutečnilo na Očním oddělení Krajské nemocnice Liberec.

1 Stavba oka

Okolní svět na nás působí prostřednictvím smyslů. Vjemy zrakové jsou pro člověka vedoucím smyslem, mají největší význam pro orientaci v prostoru. Zrak nám umožňuje vnímat tvarové vztahy, kontury předmětů, světelné a barevné vlastnosti, kontrast a hloubku. [7] V této kapitole je popsáno lidské oko, protože je vstupním orgánem při zpracování pozorovaného obrazu. Smyslový orgán zrakového ústrojí je tvořen párem očí. Oko je složitý orgán umístěný v očníci. Je tvořen oční koulí a přídatnými očními orgány. Oční bulbus je tvořen stěnou oční koule a obsahem oční koule viz. obr. 1. [1]



Obr. 1 Oční bulbus

a) spojivka, b) rohovka, c) nitrooční tekutina, d) duhovka, e) čočka, f) závěsný aparát, g) řasnaté těleso, h) ora serrata, i) šlacha dolního přímého svalu, j) šlacha horního přímého svalu, k) bělima, l) cévnatka, m) sítnice, n) místo nejostřejšího vidění (žlutá skvrna), o) tepna a žíla, p) zrakový nerv, r) sklivec [3]

1.1 Oční bulbus

Oční koule je kulovitého tvaru o průměru asi 23 mm x 24 – 26 mm. Největším obvodem oční koule je rovník, který oční kouli rozděluje na přední a zadní polovinu o různém poloměru křivosti. Přední oddíl (rohovka) a zadní větší oddíl (bělima). Na očním bulbu rozlišujeme přední a zadní pól. Oční osa spojuje oba póly. Není totožná se zornou osou oka. Spojnice pólů na povrchu očního bulbu jsou oční poledníky. Rovník spolu s poledníky určují jednotlivé útvary na oční kouli. Stěna oční koule je tvořena ze tří vrstev, a to zevní vazivovou vrstvou, prostřední vrstvou a vnitřní vrstvou. [1]

1.1.1 Zevní vazivová vrstva

Tvoří pevný a tuhý obal očního bulbu zajišťující jeho tvar. Je tvořena v zadní části neprůhlednou bělimou a v přední části průhlednou rohovkou. Přední částí zevní vrstvy vstupují do oka světelné paprsky. Na této vrstvě jsou umístěny úpony šlach okohybných svalů. [1]

1.1.1.1 Bělima

Bělima je neprůhlednou, pevnou, tuhou vazivovou tkání. Představuje oporu pro úpony šlach okohybných svalů, ochranu pro hlubší části očního bulbu a brání vstupu světla do nitra oka. Bělima je bílá, téměř bezcévná, cévní kmeny bělimou jen procházejí. Povrchní a v přední části oční koule je tkáň bělimy kryta spojivkou. V této části je bělima bohatě zásobená cévami. Bělima zaujímá 5/6 pevného obalu bulbu. Mezi bělimou a spojivkou je řídká vazivová tkáň. Na přední straně bělimy je otvor, do něhož je vsazen okraj rohovky. V zadním úseku bělimy se nachází dírkovaná ploténka. Ploténkou vstupuje sítnicová arterie a vena a z oka ven vystupují vlákna zrakového nervu. Proto se ve stěně bělimy nachází početné otvůrky pro cévy a nervy. Tenká vrstva řídkého vaziva odděluje vnitřní stranu bělimy od prostřední vrstvy. [1]

1.1.1.2 Rohovka

Rohovka je průhledná přední část oka. [2] Nachází se na předním okraji bělimy, kde uzavírá kruhový otvor o průměru 12mm. Zaujímá přední 1/6 oční koule. Důležitost rohovky je v její průhlednosti. Je prvním prostředím, kudy proniká světlo do oka a kde se lámou paprsky světla. Rohovka je důležitá součást optického prostředí oka. Rohovka působí jako čočka. [1]

Rohovka má pět vrstev.

1. Rohovkový epitel
2. Bowmanova membrána
3. Rohovkové stroma
4. Descemetova membrána
5. Rohovkový endotel

Vnější plochu rohovky kryje epitel, který je nerohovatějící tkáň složená z několika vrstev buněk, které mají dobrou a rychlou regenerační schopnost. Stroma je vlastní tkáň rohovky, která je od epitelu oddělena Bowmanovou membránou. Stroma se skládá z překřížených svazků vláken a jemné struktury pojivové tkáně. Stejná tloušťka a vzdálenost vláken ležících pod vlnovou délkou světla a obsah vody mezi vlákny vysvětlují průhlednost rohovky. Bowmanova membrána je homogenní vrstva. Při poranění se znovu neregeneruje. Endotel je nejvnitřnější vrstva rohovky, která je od stromatu oddělena Descemetovou membránou, která má podobnou stavbu jako Bowmanova membrána, ale vlákna jsou elastičtější. Endotel je plochý, složený z jedné vrstvy buněk. Regenerace probíhá zvětšováním stávajících buněk. [2]

1.1.2 Prostřední vrstva

Prostřední vrstvu nazývanou žltnatka, tvoří z větší zadní části cévnatka, ve střední části řasnaté těleso a v přední části duhovka. Jedná se o tenkou vrstvu nacházející se pod povrchovou vrstvou. Vlastní tkáň prostřední vrstvy tvoří řídké vazivo s pigmentovými buňkami a krevní cévy, které zásobují velkou část očního bulbu. Prostřední vrstva se skládá z cévnatky, řasnatého tělesa a duhovky. [1]

1.1.2.1 Cévnatka

Tenká černohnědá blána o tloušťce 0,2 – 0,4 mm, ve které je velké množství cév. Povrchová část cévnatky je od bělimy oddělena řídkým vazivem. Sítňice naléhá na vnitřní stranu cévnatky, která je bohatá na pigmentové buňky pohlcující světelné paprsky. Pigmentové buňky, tyčinky a čípky sítňice jsou vyživovány z kapilární sítě, která tvoří vnitřní stranu cévnatky. Pro optickou vrstvu sítňice je cévnatka jako tmavá komora. Zadním otvorem cévnatky prostupuje zrakový nerv, sítňicová tepna a žíla. [1]

1.1.2.2 Řasnaté těleso

Řasnaté těleso je ve tvaru zřaseného prstence, který přiléhá k vnitřní straně bělimy. Zadní okraj řasnatého tělesa se ztenčuje a plynule přechází do cévnatky, přední okraj se ztlušťuje a spojuje se s duhovkou. Z vnitřní plochy vystupují z řasnatého tělesa paprskovitě uspořádané řasy o délce 2 až 3 mm a vysoké až 1mm. Vlákná závěsného aparátu čočky se připevňují k řasnatému tělesu v oblasti, kde jsou původní řasy vystřídány jemnějšími. Řasnaté těleso vylučuje oční komorový mok do zadní komory. Základem řasnatého tělesa je vazivové stroma s hladkými svalovými buňkami sloužící jako svěrač, který svým smršťováním uvolňuje závěsný aparát pružné čočky, která mění optickou mohutnost a tvar. [1]

1.1.2.3 Duhovka

Duhovka má tvar mezikruží. Uprostřed je otvor nazvaný zornice (panenka). Postranní okraj duhovky přechází v řasnaté těleso. Přední plocha duhovky se obrací proti rohovce, mezi nimi je přední komora oční. Barva očí je podmíněna množstvím pigmentu v přední ploše duhovky. Zadní plocha je obrácená proti čočce a představuje přední stěnu zadní komory oční. Černé zabarvení duhovky podmiňuje pigmentová vrstva sítnice přecházející na zadní stranu duhovky, kde se přetáčí přes kruhový okraj duhovky a tvoří kolem ní lem. Funguje jako světelná clona. Hladké svalové buňky jsou svěrače (zúžení zornice) a rozvěrače zornice (rozšíření zornice). [1]

1.1.3 Vnitřní vrstva oka

Vnitřní obal oka je tvořen sítnicí. Sítnice se rozděluje na dva oddíly (zadní a přední), které jsou označovány jako slepá část sítnice. Zadní oddíl tvoří optickou část sítnice, která je od slepé části sítnice oddělena klikatě probíhající čarou ora serrata. [1]

1.1.3.1 Sítnice

Nejdůležitější vrstvou stěny očního bulbu je optická část sítnice, která naléhá na cévnatku. Sítnice je jemná, transparentní blána. Na očním pozadí laterálně proti zadnímu pólu můžeme rozlišit žlutou skvrnu, která je kruhovitě až eliptického tvaru o průměru asi 3mm. V jejím středu se nachází fovea centralis, což je místo nejostřejšího vidění. Leží ve vrcholu optické osy, promítá se do ní centrální paprsek. Největší počet čípků je ve žluté skvrně. Místo výstupu zrakového nervu z očního bulbu představuje fyziologickou slepou skvrnu, neobsahuje tedy žádné světločivé elementy. Sítnice je

tvořena z 11 vrstev, nejdůležitější je vnější vrstva a vnitřní vrstva. Vnější vrstva přiléhá k cévnatce. Spolu s vrstvou pigmentu cévnatky funguje jako světelná izolační vrstva pohlcující dopadající světelné paprsky a zabraňuje jejich odrazu uvnitř oka. Pigmentová vrstva obsahuje světločivé výběžky smyslových buněk sítnice. Vnitřní vrstva obsahuje fotoreceptory a neurony, které sbírají informace z fotoreceptorů. Neurony sbírají a následně odvádějí informace zrakovým nervem z oka do mozku. Smyslové buňky tvoří smyslový epitel oka, který je dvojího typu - tyčinky a čípky. Převážnou část smyslových buněk představují tyčinky, které jsou citlivé na množství dopadajícího světla. Jejich celkový počet v sítnici je asi 130 milionů. Čípky jsou citlivé na barvu, slouží k jejímu vnímání. Jejich celkový počet je asi 7 milionů. Čípky jsou uloženy ve žluté skvrně, ve které se nenachází jiný typ smyslových buněk. Slepá část sítnice naléhá na vnitřní plochu řasnatého tělesa a duhovky. [1]

1.2 Obsah oční koule

Obsahem oční koule jsou průhledné a číré tekutiny propouštějící světelné paprsky, které se lámou a dopadají na sítnici. Do optického prostředí oka se zahrnuje čočka, sklivce a komorový mok vyplňující zadní a přední oční komory. [1]

1.2.1 Čočka

Čočka se nachází za duhovkou v prohlubenině sklivce. Povrch čočky je tvořen tenkým, pružným a pevným pouzdem. Čočkové jádro je bezstrukturní a tužší. [1] Na čočce rozeznáváme pouzdro, epitel a vlastní čočkové stroma. Čočkové pouzdro obklopuje čočku, je průhledné a má rozdílnou tloušťku. Čočkový epitel se nachází pod pouzdem přes přední plochu k ekvátoru. Je jednořadý, výška buněk směrem k ekvátoru narůstá. Čočkové stroma je tvořeno vlákny, buňky v oblasti ekvátoru jsou širší a ztenčují se do podoby vlákna. [2]

Obsah vody v čočce s věkem klesá. V mládí čočka obsahuje 65% vody. Na množství bílkoviny je čočka nejbohatší tkání lidského těla. Množství žlutohnědého pigmentu měnícího propustnost světelných paprsků 400 - 1400 nm se s věkem zvyšuje a v důsledku hromadění hnědého pigmentu se v čočce zvyšuje absorpce ultrafialového a modrého světla (350 - 500 nm). Velikost čočky se také mění narůstáním nových vláken, což má za následek vysychání a kompresi starších vláken. [5]

Čočka má tvar dvojvypuklé spojné čočky s různými poloměry zakřivení. Zadní plocha je vyklenutá více než přední. Rozměry se přizpůsobují změně její optické mohutnosti. Na čočce jsou uchyceny vlákna závěsného aparátu. Při zmenšení tahu závěsného aparátu se čočka vyklene a tím se přizpůsobí vidění do blízka, při zvětšení tahu se čočka oplošťuje a přizpůsobuje na vidění do dálky. Celý proces se nazývá akomodace. Pokud se zvětší optická mohutnost, čočka se přizpůsobí na vidění do blízka. Když je čočka oploštělá, její mohutnost klesá a vidění se přizpůsobuje do dálky. Celý proces se označuje jako akomodace. [1] Pokud je oko v klidu, je zastaveno na vidění do dálky. Vidění do blízka je umožněno zvětšením lomivosti čočky akomodací, mění se zakřivení čočky. [7]

1.2.2 Sklivec

Sklivec je měkká, průhledná, želatinózní hmota, která je tvořena z 98% vodou. Tvoří výplň mezi čočkou, řasnatým tělesem a sítnicí. Zaujímá 80% obsahu oka. Slouží k udržení tvaru bulbu. Je součástí průhledných optických médií oka. Tvar je kulovitý s malým prohloubením na přední straně. Do jamky na přední ploše je vsazena čočka. [2] S věkem se mění jeho konzistence, vznikají sklivcové zákaly, které ovlivňují průhlednost sklivce. Zákaly jsou překážkou pro prostupující světelné paprsky a vzhledem k pohyblivosti ložisek zákalů působí rušivě ve vidění. [1]

1.2.3 Oční komora

Oční komora se dělí na přední a zadní, je vyplněna komorovým mokem. Komory jsou šterbinovité prostory, které se nachází mezi zadní plochou rohovky a přední plochou čočky, jejím závěsným aparátem a řasnatým tělesem. Komorový mok je čirá tekutina produkovaná výběžky řasnatého tělesa a přenosem z krevní plazmy. Slouží k zajištění metabolických funkcí přední části oka a k regulaci nitroočního tlaku. Pokud se poruší odtok komorového moku do žilního systému, zvyšuje se nitrooční tlak a vzniká zelený zákal. [1]

1.3 Přídavné oční orgány

Oční koule je ve své činnosti podporována a chráněna proti nepříznivým vlivům přídavnými očními orgány. Mezi přídavné oční orgány řadíme očnicové svaly, vazivový aparát očnice, víčka, spojivku a slzné ústrojí. [1]

2 Katarakta

Katarakta je proces, který brání průchodu světločivých paprsků k tyčinkám sítnice, proto není umožněno vedení obrazů vnějšího prostředí do mozkových center. Všechny tyto jevy se označují jako zákaly. Paprsky procházejí optickým prostředím oka, do kterého patří rohovka, komorová voda v přední komoře, čočka a sklivce. Zákal rohovky tvoří první překážku při průchodu světelných paprsků do oka. Proto je důležitý předpoklad pro správný průchod paprsků průhlednost rohovky. Předmětem zájmu diplomové práce jsou v první řadě zákaly čočky, které jsou obecně známy pod názvem katarakta. Počet postižených kataraktou stoupá s věkem a je vyšší u žen. [4]

2.1 První popis zákalu čočky

Zákal čočky jako onemocnění byl poprvé popsán Suśrutou 3000 let před naším letopočtem v Indii. Vznik zákalu vysvětloval změněnou oční tekutinou. Další zmínka pochází z Egypta, kdy se onemocnění popisuje bělavou tekutinou stékající ze zornice. [5] Původní egyptský název pro zákal čočky se přeložil latinsky jako „suffusio“. Nyní je znám pod názvem katarakta, který je odvozen z řečtiny, v překladu vodopád. Řecký název poprvé použil G. Cremoniensis ve 12. století. Ve středověku se začal používat název šedý zákal. [5]

2.2 Vznik katarakty

Katarakta je jakýkoliv zákal čočky negativně ovlivňující vidění. Přechod od fyziologických projevů stárnutí ke kataraktě je plynulý. Zdravá čočka je průhledná a čirá. Postupem věku se objevuje žloutnutí a snižuje se její průhlednost. Může se zakalit až do fáze, kdy je zcela neprůhledná. [1] Čočka je vyživována z nitrooční tekutiny a ze sklivce. Protože tkáň nemá cévy ani nervy, nevznikají v ní záněty. Záněty v okolí čočky ale mohou působit i na čočku. [4]

Katarakta se hodnotí podle části čočky, kterou postihuje, podle doby vzniku, podle tvaru, barvy nebo stupně zákalu. Mezi příčiny vzniku katarakty se zahrnují změny úrovně hydratace, zvýšení obsahu vápníku, úbytek draslíku, kyseliny askorbové atd. Není zřejmé, zda některé ze změn nejsou spíše důsledkem než příčinou katarakty. Mezi známé příčiny vzniku katarakty patří stárnutí, úrazy, záněty, metabolické a nutriční

poruchy, záření. Katarakty se dělí na vrozené a dětské, podmíněné věkem, indukované léky, traumatické, metabolické a katarakty u zánětlivých onemocnění oka. [5]

2.2.1 Katarakty vrozené a dětské

Mezi vrozené katarakty patří kongenitální. Zákaly diagnostikované v prvním roce života dítěte se nazývají infantilní.

2.2.1.1 Kongenitální katarakta

Kongenitální katarakta je choroba, která je vrozená. Je buď chorobou dědičnou nebo vzniká během embryonálního vývoje jako důsledek nitroočního zánětu, při poruchách vývoje, při intoxikacích a při infekčních chorobách matky prodělané v těhotenství. Léčba kongenitálních katarakt se řídí podle rozsahu zákalu. V úvahu se bere, zda zákal postihuje jedno nebo obě oči a přítomnost dalších očních změn. Poruchy vidění negativně působí na psychický vývoj dítěte. [12] Vrozenou kataraktu je zapotřebí operovat do dvou měsíců věku dítěte. Do dvou let se afakie koriguje kontaktními čočkami nebo brýlemi, po druhém roce života se může implantovat nitrooční čočka. [5]

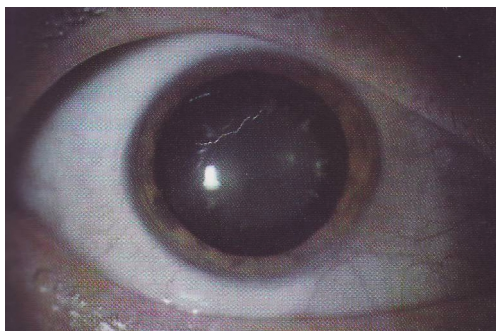
2.2.1.2 Infantilní katarakta

Zákal vzniklý během prvního roku života dítěte. Protože část zákalů není diagnostikována bezprostředně po porodu, dochází k záměně kongenitální a infantilní katarakty. [5]

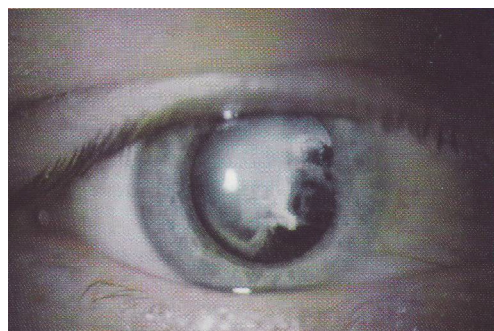
2.2.2 Katarakta podmíněná věkem

Výskyt katarakty je u osob ve věku od 65 do 74 let 50%, ve věku nad 75 let je výskyt až 70%. [5] Senilní katarakta stále častěji postihuje i lidi presenilního věku, u kterých se setkáváme především se zadní subkapsulární kataraktou. Příčiny vzniku kromě věku jsou různé: traumata, záněty okolních tkání, užívání kortikoidů, vystavení ionizujícímu prostředí. [4] Pro vznik senilních změn jsou typické především chemické změny čočkových proteinů s tvorbou pigmentace, nižší koncentrace draslíku, vyšší koncentrace sodíku a vápníku a zvýšená hydratace čočky. Zvyšuje se hmotnost čočky a klesají akomodační schopnosti. [8]

Senilní katarakta se rozděluje na tři základní typy, kdy pacient může vykazovat současně charakteristické rysy několika různých typů zákalů. Podle části čočky, kterou zákal zaujímá se rozlišují tři hlavní typy: nukleární, kortikální a zadní subkapsulární. [5]



a)



b)

Obr. 2 Senilní a traumatická katarakta

a) Senilní katarakta (nukleární typ), b) Traumatická katarakta (čočka je zkalena a část čočky je uvolněna do sklivce) [8]

2.2.2.1 Nukleární katarakta

Nukleární katarakta se vyznačuje homogenitou jádra čočky se ztrátou buněčného vrstvení. Žlutavé zabarvení čočky a jistý stupeň ztvrdnutí čočkového jádra se u presenilních jedinců považuje za fyziologický. Vystupňované ztvrdnutí jádra a zažloutnutí čočky jsou příčinou nukleární katarakty. Žloutnutí čočky je příčinou zhoršení barevného rozlišování, především pokud jde o modrý okraj viditelného světelného spektra. Nukleární katarakta postupuje pomalu. Může být asymetrická, ale většinou je oboustranná. Je jednou z příčin zhoršení dálkového vidění. V pokročilém stádiu je jádro čočky neprůhledné, zahnědlé, jde o obraz tzv. brunescenční nukleární katarakty. [5] Biochemické změny zvyšují index lomu a vedou k neschopnosti ostře vidět vzdálené předměty. Postupem katarakty dochází k větším poruchám barevného vidění. [8]

2.2.2.2 Kortikální katarakta

Ke kortikálnímu zákalu čočky vedou změny iontového složení pouzdra čočky a změny hydratace vláken v čočce. Charakteristické je hydropické zduření vláken čočky. Kortikální katarakty jsou většinou oboustranné v různých stupních vývoje na obou očích. Mohou být i asymetrické. Vliv kortikální katarakty na zrakové funkce je proměnný v závislosti na umístění s ohledem na osu vidění. Některé kortikální zákaly jsou po dlouhá léta stacionární, jiné rychle postupují. [5]

V počátečních stádiích zákalu může být dobrá zraková ostrost, kdy choroba postupuje z

okrajové části směrem k centru. V průběhu dalšího zkalení čočky může dojít k zvětšení jejího objemu, nastává riziko vyvolání záchvatu zeleného zákalu. Při přezrálé kataraktě se vlastní tkáň čočky stává tekutou a tvrdé jádro čočky klesá na dno. [4] Kortikální katarakta vyvolává pocit rozostřeného oslňujícího obrazu při pohledu na intenzivní světelné zdroje. [8]

2.2.2.3 Zadní subkapsulární katarakta

Pro zadní subkapsulární kataraktu je charakteristický posun zvětšených epitelových buněk čočky v zadní subkapsulární oblasti. Často bývá zadní subkapsulární katarakta diagnostikována u mladších pacientů. Je lokalizována v zadní kortikální vrstvě. Onemocnění se projevuje pocitem oslnění pacienta a zhoršeným viděním při jasném osvětlení. Ostrost vidění na dálku je větší než ostrost vidění na blízko. Pacienti si stěžují na pokles zrakové ostrosti při čtení a pohledu do blízka. Patří do hlavních typů senilních katarakt, ale není spojen pouze se senilními změnami, může vzniknout i po traumatu, zánětu, následkem použití kortikoidů, v důsledku vystavení vlivu ionizujícího záření. [5]

2.2.2.4 Další typy senilních katarakt

Kromě hlavních typů senilních katarakt se objevují i další typy: Brunescenní katarakta, Intumescenní katarakta, Maturní katarakta, Hypermaturní katarakta.

Brunescenní katarakta vzniká postupem homogenní sklerotizace jádra čočky, které se zabarvuje v odstínech hnědé. Při vzniku Intumescenní katarakty dochází k hydrataci a tím zduření čočkových vrstev. Vytvoří se obraz lesklého bělavého zákalu. Maturní katarakta je pokročilým stupněm zkalení čočky, ztvrdnutí všech čočkových vrstev. Maturní katarakta je charakteristická bílým, matně lesklým vzhledem.

Hypermaturní katarakta vzniká při dlouhodobě trvajícím a pokročilém zákalu, dochází k vstřebávání biochemicky změněného kortikálního materiálu. Pouzdro čočky se zmenšuje, až se postupem času zřasí. [8]

2.2.3 Katarakty indukované léky

Katarakty mohou být vyvolané léky, např.: kortikoidy, fenothiaziny, miotiky, amiodarony, přípravky obsahující zlato. Aplikace kortikoidů může být příčinou subkapsulární katarakty, jejíž výskyt závisí jak na délce podávání, tak i na dávkování.

Fenothiaziny jsou psychotropní látky, které mohou být příčinou pigmentových usazenin v epitelu čočky. Miotika způsobují katarakty v předním pouzdru čočky a pod ním. Při podávání amiodaronu se vyskytují hvězdicovité usazeniny v čočce. Sloučeniny zlata vyvolávají světle hnědý až fialový poprašek v čočkovém pouzdře. [5]

2.2.4 Traumatická katarakta

Příčinou traumatické katarakty je trauma, mechanické poškození (tupé, pronikající poranění), různé druhy záření (ionizující, infračervené, ultrafialové, mikrovlnné), chemikálie, rozpouštědla, elektrický proud. [5] Traumatická katarakta může vzniknout po mechanickém poranění oka. Vznikne hned nebo se může postupně vyvíjet. Následkem poškození závěsného aparátu dochází k změně polohy čočky nebo i k vysunutí čočky ze závěsného aparátu. U poškození chemikáliemi je tvorba katarakty častější u působení zásad, do oka pronikají rychleji než kyseliny. [8]

2.2.5 Metabolická katarakta

Do metabolické katarakty se řadí zákalý čočky způsobené onemocněním jako je Diabetes mellitus, Galaktosemie (dědičná neschopnost přeměňovat galaktózu na glukózu), Hyperkalcemie (vznik nemoci z neznámého důvodu nebo jako důsledek poškození příštítných tělísek při operacích štítné žlázy), Wilsonova choroba (dědičná porucha metabolismu mědi), Myotonická dystrofie (dědičné onemocnění charakterizované opožděnou relaxací kontrahovaných svalů, ochablostí obličejového svalstva, atd.), poruchy výživy (rozvrat vnitřního prostředí). [5]

2.2.6 Katarakty u zánětlivých onemocnění oka

Zadní subkapsulární katarakta je nejčastějším typem zkalení čočky při chronicky probíhajícím zánětu uvnitř oka. [8] U komplikované katarakty bývá zákalem postižena zadní subkapsulární oblast čočky, někdy je postižena i přední část čočky. [5]

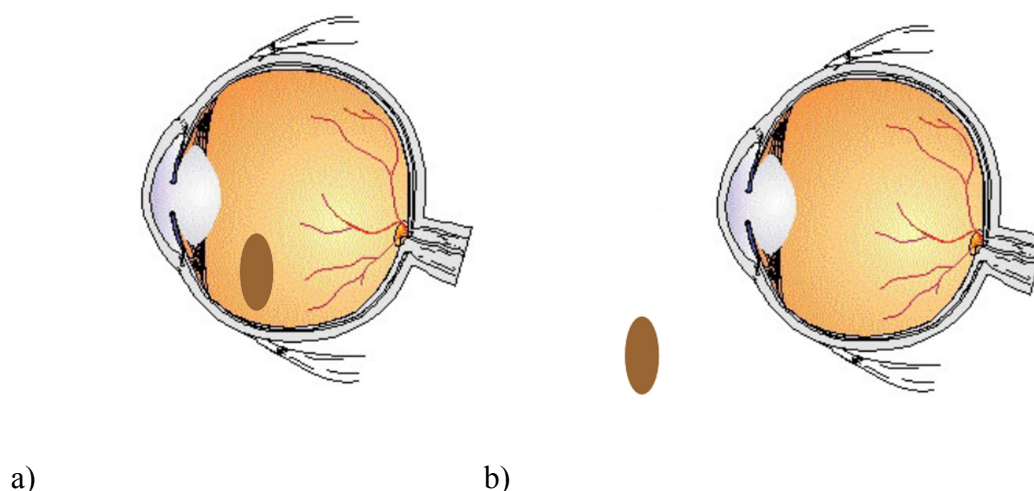
2.3 Léčba katarakty

Léčba šedého zákalu prováděné pomocí léků neexistuje. Konzervativní léčba nemůže zajistit prevenci, oddálit vznik nebo zastavit rozvoj katarakty. Experimentálně se prokázala prevence katarakt u zvířat při medikamentózní léčbě, výzkumy stále pokračují. Léčba se provádí se operativně. [5] Operační postupy mají mnoho modifikací, stejně jako tvar, materiál a velikost nitrooční čočky. [8]

2.3.1 Vývoj chirurgie katarakty

Někteří lékaři ve starověku léčili kataraktu chirurgicky. Nebylo jim známo, že je katarakta podmíněna zákalem čočky. Již v období 800 let př. n. l. v Indii lékaři operovali šedý zákal shozením čočky do sklivce viz. obr. 3. Metoda byla používána až do poloviny 18. století. [5] V průběhu dalších staletí se provádělo odsátí katarakty pomocí duté jehly, vytlačení zkaleného čočkového jádra z oka řezem na rohovce, vytlačení celé zkalené čočky z oka ven. Všechny zmíněné postupy léčby zapříčiňovaly vysoký výskyt komplikací. [25]

V 18. století Francouz Jacques Daviel jako první publikoval sdělení o vytažení zkalené čočky zornicí z oka ven viz. obr. 3. Řez byl proveden v dolní části rohovky a rozšiřován nůžkami. Výkon se prováděl bez umrtvení a bez opatření zabráňujících vniknutí infekce do oka. V 19. století Němec Albrecht von Graefe zdokonalil uvedený postup operace zavedením nože, který umožnil dokonalejší přizpůsobení okrajů rány, což mělo za následek menší výskyt pooperačních komplikací. [5]



Obr. 3 Odstranění zkalené čočky [3]

a) do sklivce, b) z oka ven

2.3.2 Chirurgická léčba katarakty

Běžným chirurgickým postupem je otevření bulbu malým řezem, otevření čočkového pouzdra, rozbití čočkového jádra a čočkových hmot ultrazvukem, následné odsátí a vložení umělé nitrooční čočky do pouzdra čočky. [3] U chirurgické léčby katarakty se používají dva způsoby jejího odstranění, intrakapsulárně a extrakapsulárně. [8]

2.3.2.1 Intrakapsulárně

Mezi první úspěšně provedené pokusy intrakapsulární extrakce patří: odstranění zkalené čočky spolu s pouzdem čočky tlakem palce, zevní použití svalového háčku pro přerušení dolního závěsného aparátu čočky a následného vytlačení čočky z oka ven, uchopení čočky pinzetou za okraj pouzdra a pohyby ze strany na stranu se uvolňovala ze závěsného aparátu atd. [5]

Dnes se intrakapsulární extrakce používá jen výjimečně. Technika představuje vyjmutí čočky při ochlazení sondou zavedenou k jejímu povrchu. Náhlé snížení teploty sondy má za následek dočasné namrazení nejbližších částí čočky a umožní vyndání čočky z oka. Oko je bez čočky, vzniká tzv. afakie. Dalším přístupem je využití rohovkového řezu snižující riziko krvácení. Jako prevence vzestupu nitroočního tlaku (sklivce blokuje cirkulaci komorového moku) vzniklého po operaci, se používá základní oční operace spočívající v odstranění duhovky. [8]

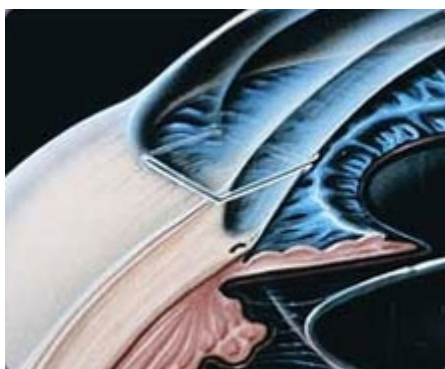
2.3.2.2 Extrakapsulárně

V současné době existují dvě možnosti extrakapsulární léčby katarakty. Čočka se vyndá z oka ven, zanechá se převážná část jejího pouzdra. První možností je exprese jádra čočky (vmasírování, dnes se již téměř nepoužívá), druhou možností je fakoemulzifikace. Zachování zadního pouzdra čočky umožňuje implantaci umělé nitrooční čočky do fyziologicky přirozené části oka s minimálními pooperačními komplikacemi. [8]

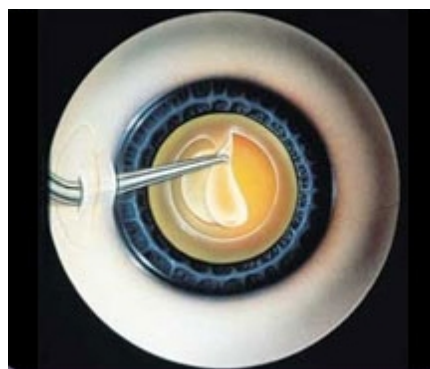
Principem fakoemulzifikace je odstranění zkalené čočky a její náhrada umělou nitrooční čočkou. [3] Oproti předchozím technikám má fakoemulzifikace mnoho výhod. Protože využívá možnosti malého řezu, je sníženo množství pooperačních komplikací, je výrazně urychlena zraková rehabilitace po operaci, výrazně zkrácena délka operace a tím i náročnost operace pro pacienty. Metoda byla zavedena v roce 1967, od té doby prochází vývojem. [8] Technika využívá ultrazvukovou energii, která rozkmitá jehlu. Jehla rozdrtí jádro čočky, které je následně odsáto. [5]

Měření barvocitu u osob s kataraktou se provádělo na Očním oddělení Krajské nemocnice Liberec. Následujícími kroky operace prošli všichni pacienti, u kterých se proměřoval barvocit před a po operaci katarakty. Operace se provádí ambulantně bez nutnosti několikadenní hospitalizace. Po stanovení diagnózy očním lékařem se provedou nutná předoperační vyšetření a stanoví se termín operace.

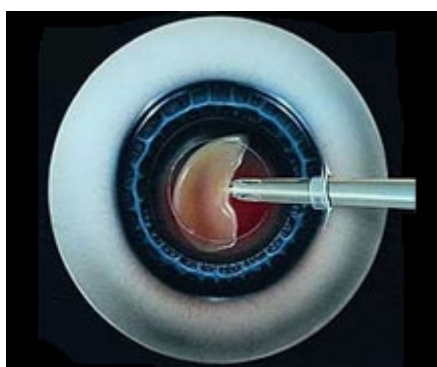
Před operačním zákrokem se provádí znecitlivění oka, které nespočívá ve vpichu jehly z jednoho či více míst, ale v nanesení anestetika na povrch rohovky. Operace se provádí z malého řezu v oční rohovce. Při vstupním řezu rohovkou nedochází ke krvácení z cév spojivky, proto se nemusí pálit krvácející cévy. Tvar řezu umožňuje samovolné uzavření, bez konečného stehu. Velikost rohovkového řezu je 2,7 mm (viz. obr. 4a). Dalším krokem při operaci je vytvoření okrouhlého otvoru na přední části pouzdra zkalené lidské čočky (viz. obr. 4b). Čočka se poté rozdrtí a obsah zkalené lidské čočky se odsává ultrazvukovou sondou, přístroj Infinity – Alcon s nástavcem Ozil (viz. obr. 4c). Po zbavení zkaleného obsahu lidské čočky se do vaku původní čočky implantuje umělá čočka, která je dimenzována na základě předoperačních výpočtů tak, aby vytvářela ostré obrázky na sítnici. Provádí se implantace měkké čočky, která se může srolovat a vsunout do oka řezem 2,7mm, což je umožněno její ohebností viz. obr. 4d. [3]



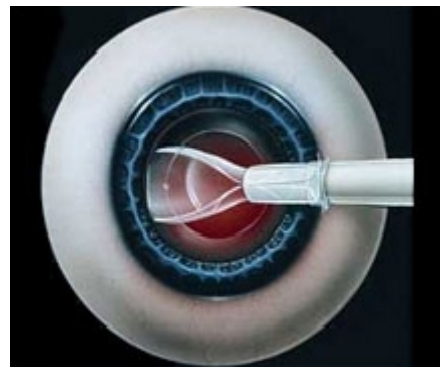
a)



b)



c)



d)

Obr. 4 Postup při fakoemulzifikaci [3]

a) řez do rohovky, b) otvor v čočce, c) rozdrcení čočky, d) implantace čočky

2.4 Umělá nitrooční čočka

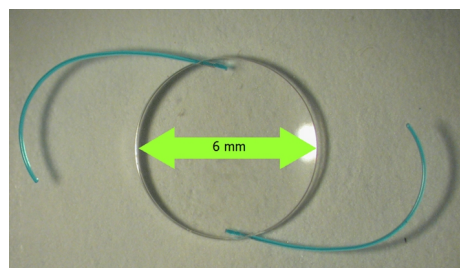
Měkké čočky oproti dříve používaným tvrdým čočkám mají několik výhod. Dají srolovat a zavést do vaku původní čočky malým řezem, který nepůsobí změny zakřivení rohovky, a proto nezhoršuje výslednou zrakovou ostrost. Při implantaci měkké čočky dochází jen minimálně k výskytu tzv. druhotného šedého zákalu, který je zapříčiněn zjizvením pouzdra původní lidské čočky, do které byla implantována čočka umělohmotná. Zjizvení pouzdra vede k opětovnému zhoršení zraku, které se řeší většinou laserem. [27]

2.4.1 Implantace umělých nitroočních čoček

Implantace umělé nitrooční čočky se používá jako základní postup korekce afakického oka. Afakie je chybění čočky v oku po operaci šedého zákalu, následkem úrazu, vrozené. [12] Všem operovaným osobám, kterým byl proměřen barvocit, byla implantována bezbarvá nitrooční čočka (viz. obr. 5a). Implantovaná čočka má velikost 12mm, z toho 6 mm je optická část. Starší typ konstrukce nitrooční čočky je na obr. 5b. Vyrábí se čočky bezbarvé nebo se žlutým filtrem (viz. obr. 5c), který má příznivý vliv na blokování modré složky světla, což příznivě působí na choroby sítnice.



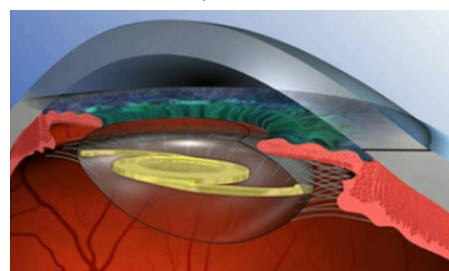
a)



b)



c)



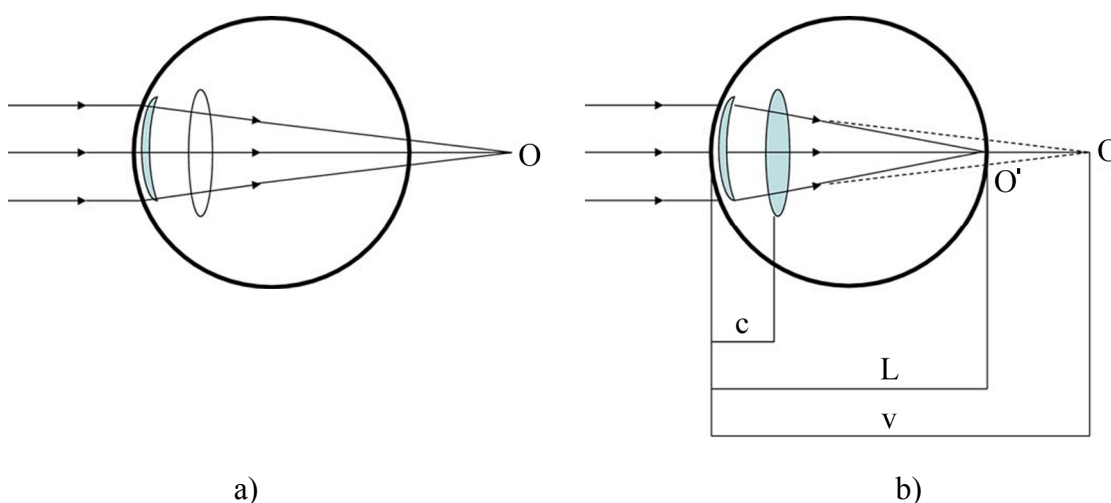
d)

Obr. 5 Typy umělých nitroočních čoček a způsob vložení do čočkového pouzdra

a) nitrooční čočka bez filtru, b) starší typ nitrooční čočky bez filtru, c) nitrooční čočka se žlutým filtrem rozdělená na zóny, d) uchycení umělé nitrooční čočky v pouzdře. [25]

2.4.2 Dioptrické zařízení oka

Dokončení vidění a rozeznávání různých předmětů v našem okolí je podmíněno podrážděním sítnice dostatečně jasným a přesným obrazem. Vytvoření obrazu je úkolem dioptrického zařízení oka. Oko je komplikovaný optický systém, ve kterém záleží na indexu lomu, který je dán poměrem rychlosti postupu světla ve vzduchu a v příslušném lomivém prostředí, na poloměru křivosti svétlolomných ploch, na vzdálenosti ploch od sebe. Přední a zadní plocha rohovky a přední a zadní plocha čočky jsou svétlolomné plochy v oku. [7] Pokud v oku chybí čočka, světlo se láme pouze rohovkou (viz. obr. 6a). Světlo lámané rohovkou a umělou nitrooční čočkou je na obr. 6b.



Obr. 6 Světlo lámané rohovkou nebo rohovkou a umělou nitrooční čočkou

a) světlo lámané rohovkou, b) světlo lámané rohovkou a umělou nitrooční čočkou [3]

Dioptrickou hodnotu nitrooční čočky lze zjistit ultrazvukem (Ocu-Scan) nebo optickým systémem (IOL master). Ultrazvuk měří délkové poměry očního bulbu. Využívá znalostí o rychlosti šíření zvuku v různých prostředích a jejich částečného odrazu na rozhraních různých prostředí. Při měření zakřivení rohovky, se využívají dva obrazce, které se promítají na rohovku pod různým úhlem a využívá se jejich odlesků.

Pro zjištění dioptrické hodnoty umělé nitrooční čočky, je zapotřebí určit následující hodnoty:

L ... délka očního bulbu (individuální)

v ... lomivost rohovky (zakřivení rohovky, které je u každého individuální)

c ... vzdálenost rohovky od čočky (individuální) [3]

3 Vliv katarakty na zrak

Ve zdravém oku jsou světelné paprsky čirou rohovkou a čirou oční čočkou lámány směrem do žluté skvrny sítnice, kde vytvářejí ostrý obraz reálných barev (viz. obr. 7a). U osob s kataraktou světelné paprsky prochází čirou rohovkou, v prostředí zkalené čočky se nepravidelně lámou a rozptylují. Vytvořený obraz je zamlžený s pozměněnými barvami (viz. obr. 7b). Katarakta snižuje transparentnost čočky, a tím znemožňuje vytvoření ostrého obrazu na sítnici. Zkalená čočka propouští méně světelných paprsků (snížení jasu a zhoršení nočního vidění), rozptyluje světelné paprsky (snížení kontrastu, vyvolává pocit oslnění, nerozpoznání detailů) a odfiltrává určité vlnové délky (snižuje podíl modré, zvyšuje podíl žluté složky viditelného spektra). [3]



a)



b)

Obr. 7 Porovnání normálního vidění a vidění s kataraktou [3]

a) normální vidění, b) vidění s kataraktou

3.1 Objektivní vyšetření šedého zákalu

Klinické vyšetření čočky se provádí v rozsahu zornice. Při podezření na kataraktu se vyšetřují jednotlivé vrstvy čočky a posuzuje se jejich snížená průhlednost ve vztahu ke zhoršené zrakové ostrosti. Jednotlivé vrstvy a jejich případné změny se sledují v úzkém štěrbinovém osvětlení. Důležité je posouzení obrazu štěrbinové lampy, reflexu při vyšetření oftalmoskopem a očního pozadí. [8] Vyšetřovací metody slouží k diagnostice různých typů katarakt a fází zralostí zákalu. Mezi vyšetřovací metody patří: zevní vyšetření oka a jeho okolí, reakce zornice, stupeň a typ zákalu, poloha čočky, zraková ostrost do dálky, do blízka, kontrastní citlivost, zorné pole, subjektivní zrakové funkce a jejich vliv na každodenní činnosti nemocného, atd.[5]

3.2 Subjektivní příznaky šedého zákalu

Mezi subjektivní příznaky šedého zákalu patří snížení zrakové ostrosti, oslnění, myopický posun, mononukleární diplopie. Různé typy katarakt různě ovlivňují zrakovou ostrost. [5]

3.2.1 Zraková ostrost

Katarakta se považuje za závažnou, když snižuje zrakovou ostrost. U zadní subkapsulární katarakty je ostrost vidění do blízka výrazně snížena oproti ostrosti vidění na dálku. Při nukleární kataraktě je dobrá ostrost vidění do blízka a snížené vidění do dálky. Při kortikální kataraktě je dobrá ostrost vidění až do doby, než je osa vidění ovlivněna zákaly. [5] Zraková ostrost je závislá na intenzitě osvětlení. Narůstá k 2000 lx, pak se zlepšuje jen mírně. [21]

3.2.2 Oslnění

Pacient s kataraktou má pocit oslnění, který může být vnímán ve smyslu poklesu vnímání kontrastů v jasně osvětleném prostředí. Pacient subjektivně může pociťovat oslnění při pouhém denním osvětlení nebo při míjení protijedoucích vozidel s rozsvícenými předními světlomety za denního světla nebo pouze v noci. [5]

3.2.3 Zorné pole

Pacienti si ztěžovali na zúžení zorného pole. Velikost zorného pole ovlivňuje intenzita osvětlení. Při intenzitě bílého světla 200 lx je zorné pole obou očí 180 až 200 stupňů horizontálně a asi 110 stupňů vertikálně u zdravého člověka. Při hodnotách intenzity osvětlení 25 lx je velikost zorného pole poloviční. [5]

3.2.4 Myopický posun

Katarakta může zapříčinit zvýšení dioptrické síly čočky a způsobit tím zhoršení ostrého vidění vzdálených předmětů (myopie). Pacienti často uvádějí příznaky tzv. druhého zraku. [5]

3.2.5 Mononukleární diplopie

Zákal postihující pouze vnitřní vrstvu jádra čočky způsobuje mononukleární diplopii (dvojité vidění), kterou nelze korigovat brýlemi ani kontaktními čočkami. [5]

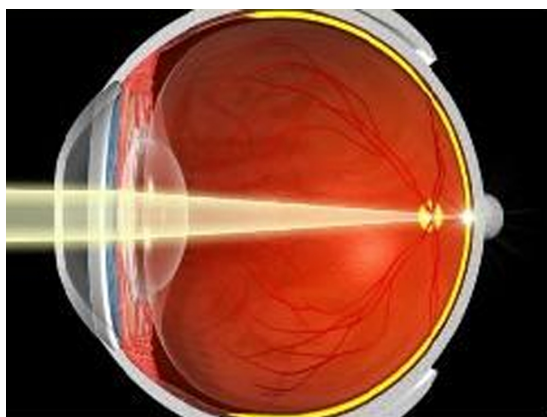
3.3 Objektivní příznaky šedého zákalu

Mezi projevy zrakových vad patří: snížení zrakové ostrosti (viz. obr. 8b), poruchy vidění v zorném poli, zúžení zorného pole, komplikace při vnímání intenzity světla, zhoršená adaptace zraku na různé hladiny osvětlení, porucha barvocitu, narušené vnímání hloubky prostoru. [21]

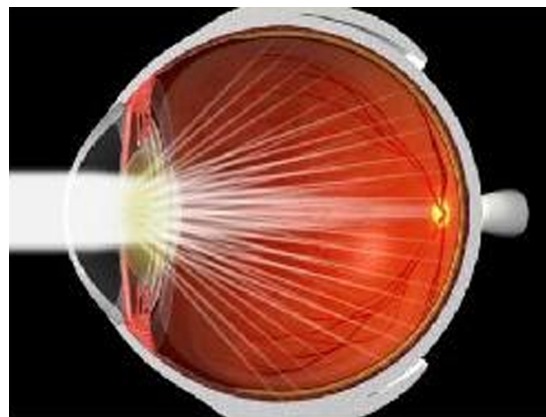
3.3.1 Zraková ostrost

Zraková ostrost zdravého oka (viz. obr. 8a) nám udává informaci o detailech vnímaných předmětů, udává se tzv. rozlišovací mez. Zraková ostrost je závislá na průměru světelně citlivých receptorů sítnice, kontrastu předmětů, na poloze obrazu na sítnici, na vlnové délce světla, na vadách vidění, na tvaru předmětů. [6]

Východiskem pro určování zrakové ostrosti je zjištění rozlišovací schopnosti oka, která označuje schopnost identifikovat dva prostorově oddělené objekty jako dva. Předpokladem je, aby obraz dvou objektů na sítnici byl oddělen alespoň jedním čípkem. Na tento čípek se promítne mezera mezi těmito objekty. Při určování zrakové ostrosti zjišťujeme míru minimálního úhlu rozlišení. K vyšetřování zrakové ostrosti se používají písmena, číslice nebo různé obrazce (Snellenův typ, Jaegerovy tabulky). Zraková ostrost se výrazně mění v závislosti na věku. [8] Plné zrakové ostrosti u osob s kataraktou je dosahováno u více než 90% operovaných. [4]



a)



b)

Obr. 8 Prostup světelných paprsků u osob s normálním viděním a osob s kataraktou [3]

a) Normální vidění, b) Vidění s kataraktou

3.3.2 Citlivost na kontrast

Kontrast nastává když sousední místa sítnice jsou osvětlena různým světlem. [6] Podle hodnot zrakové ostrosti se posuzuje rozlišovací schopnost lidského oka. Vyšetření citlivosti na kontrast se provádí pomocí tabulek s pěti řádky a devíti sloupci kruhových podnětových terčů. V každém řádku kontrast postupně klesá. Ve sloupcích roste prostorová frekvence pruhů. Pacient určuje směr pruhů v každém terči. Pruhy mohou být svislé, nakloněné doprava či doleva, při nulovém kontrastu chybějí úplně. [8]

3.3.3 Oslnění

Při postupném zvyšování jasu probíhá vnímání okem tak, že se do procesu zapojují postupně tyčinky, čípky, zmenšuje se průměr zornice oka a přemisťují se zrna černého pigmentu. Při vysokých jasech není černý pigment dále schopen bránit čípky sítnice proti nadměrnému množství světla. Pozorovaný povrch předmětu je vnímán oslnivě. Zda je jas považován za oslňující, je do jisté míry subjektivní. Velikost jasu způsobující oslnění je závislé i na adaptaci oka. Stav oslnění nastává při jasech $1,65 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$. [6] V první řadě se určí zraková ostrost pacienta, poté se osvítlí centrální sítnicová oblast oka oftalmoskopem po dobu 15 sekund. Měří se čas potřebný k tomu, aby pacient správně rozpoznal řádek, který četl před oslněním. [8]

3.3.4 Adaptace na tmu

Adaptace na tmu je schopnost oka přizpůsobit se úrovni osvětlení. Adaptace oka je podmíněna regenerací a syntézou zrakových pigmentů. Čípky se na tmu adaptují rychleji než tyčinky, ale tyčinky mají větší přírůstek citlivosti. Určuje se vzrůstající citlivost sítnice po tmě. [8] Délka adaptace při přechodu z neosvětlené místnosti do osvětlené je dokončena asi do 1 minuty a doznívá asi 10 minut. Adaptace z vyššího jasu na nižší trvá několik minut a je dokončen po 40 až 45 minutách. [21]

4 Lidské oko a vidění

Vidění je zprostředkováno lidským okem, které je citlivé na světlo z viditelné oblasti spektra (380 – 720nm). Viditelné spektrum se dělí na světlo červené barvy (720 - 627nm), oranžové barvy (627 - 589nm), žluté barvy (566 - 495nm), modré barvy (495 - 436) a fialové barvy (436 - 380nm). Oko není přizpůsobeno jen k vnímání charakteru dopadajícího světla (intenzita a barva dopadajících světelných paprsků, směr dopadajících světelných paprsků), vytváří i vjem tvaru pozorovaných předmětů. Oko vnímá kontrast, barvu i tvar. Informace zprostředkovaná z oka je doplněna o předchozí zkušenosti pozorovatele a zároveň o informace získané z ostatních smyslových orgánů. [11]

Světelná citlivost sítnice je ve spojitosti s hustotou rozložení tyčinek a čípků. Chromatická citlivost je citlivost sítnice k barvám světla, achromatická citlivost je citlivost sítnice ke světlu vůbec. Zrakový vjem lze charakterizovat veličinou jasu. Zvětšení jasu má za následek zvětšení zrakové reakce. Při podráždění sítnice světlem v ní probíhají různé změny. Jedna z nejdůležitějších změn je rozpadání nebo blednutí zrakového purpuru obsaženého v tyčinkách a čípcích. Působením změn se čípky zkracují a tyčinky prodlužují a mezi nimi dochází k přesunu pigmentové vrstvy ve směru proti dopadu světla. Temná pigmentová vrstva značně pohlcuje světlo a tím chrání sítnici od nadměrného oslnění.

Experimenty ukázaly, že tyčinky a čípky dostávají působením světla záporný náboj, a tak v sítnici vzniká elektromotorické napětí, které je pravděpodobně příčinou podráždění zakončení zrakového nervu. Podrážděním vznikají v zrakovém nervu elektrické impulsy, které se přenášejí do mozku, kde vyvolávají pocit světla. Pokud je vyšší osvětlení sítnice, je i kmitočet elektrických impulsů vyšší. Zrakový vjem nevzniká ihned po dopadu světla na sítnici a nezmizí ihned po skončení účinku světla na sítnici (doznívání obrazu).

4.1 Fotochemie vidění

Fotochemické procesy jsou zapříčiněny změnami zrakových purpurů, nazývaných také očními pigmenty. Nejdůležitější pigmenty jsou rodopsin, porfiropsin a jodopsin. Velkou

roli u zrakového vnímání má vitamín A v pigmentové vrstvě. Pigment je tvořen sloučeninou bílkového základu s kerotinoidem. Bílková část se nazývá opsin, další část molekuly tvoří retinen. Světlo způsobuje rychlé blednutí rodopsinu (regenerace asi 40 minut). Tyčinky a čípky mají vrstvou mikrostrukturu, které při fotoreakci v jednom směru propouštějí ionty rozpadajícího se pigmentu a v druhém směru elektrony a tím se mění potenciál na mikrostrukturu tyčinek a čípků. To je předpoklad pro jeden z možných zdrojů nervových signálů. Způsob přeměny metabolismu a chemických procesů vlivem světla na bioelektrické signály není zcela přesně vysvětleno. Od nervových vláken ke koncům vláken fotoreceptorů protékají bioelektrické proudy. [6]

4.1.1 Fotoreceptory

Fotoreceptory jsou dvěma typy buněk, které se liší svým tvarem i citlivostí, jedná se o tyčinky a čípky. Barevný vjem vzniká světelným podrážděním světlocitlivých buněk tvořících sítnici. Fotoreceptory zpracovávají světelnou energii dopadající na sítnici. Paprsky světla projdou nejdříve gangliovými buňkami (nejblíže k čočce), poté bipolárními buňkami a nakonec jsou zpracovány fotoreceptory. Vrstva gangliových buněk zabezpečuje vnější spojení k vláknům zrakového nervu. [11]

4.1.1.1 Tyčinky

Tyčinky jsou citlivé na rozdíly v intenzitě dopadajícího světla, reagují již na velmi malé množství světelné energie a neposkytují barevný vjem (skotopické neboli soumravné vidění). Zrakový signál je do mozku předáván skupinami tyčinek, což zapříčiňuje malou rozlišovací schopnost za šera. [11] Tyčinky jsou tenčí a protáhlejší než čípky. Pět až deseti procenty svého objemu obsahují červené barvivo rhodopsin. Rhodopsin je druh purpuru, který se světlem rozkládá a ve tmě se znovu regeneruje. Tyčinky obsahují vnitřní a vnější segmenty. Vnitřní segment má schopnost se zkracovat a prodlužovat. Vnější segment tyčinek je válcovitého tvaru s zvrásněným povrchem, pod kterým jsou spirálová vlákna. Růžové zbarvení vnějších segmentů je způsobeno očním purpurem. Působením světla se pigmenty posunují mezi vnější segmenty receptorů, přitom se čípky zkracují a tyčinky naopak prodlužují. Rozložení tyčinek a čípků na sítnici není stejné. [6]

4.1.1.2 Čípky

Vzniklá fotochemická reakce po absorpci světla zapříčiňuje barevný vjem (fotopické

vidění). V čípcích jsou pravděpodobně tři fotosenzibilní substance reagující v červené, zelené a modré oblasti spektra. Další barevné vjemy vznikají narušením tří fotosenzibilních substancí. Nejvyšší koncentrace čípků je ve žluté skvrně, její střed se nazývá fovea centralis. Lidské oko je schopno rozlišit 3,5 až 5 miliónů odstínů, u zkušených koloristů 7 až 10 miliónů. Oko je citlivé i na malé rozdíly v odstínech, pokud provádíme srovnání odstínů. Při odděleném srovnávání se citlivost ztrácí. Směrem od žluté skvrny počet čípků klesá, na okrajích sítnice jsou již téměř jen tyčinky. Čípků je v oku 18x méně než tyčinek. V blízkosti žluté skvrny je zrakový nerv. V místech, kde prochází sítnicí je tzv. slepá skvrna. Mozek při sestavování obrazu chybějící oblast snadno doplní. [11] Čípky obsahují světelně citlivé barvivo, které se skládá ze dvou druhů očního purpuru, a to jodopsinu a rhodopsinu, které jsou v poměru 3 : 4. Poměr se ani po přizpůsobení vidění na tmou nemění. Jodopsin je méně stálý než rhodopsin. Čípky mají složitější strukturu než tyčinky, jsou kratší a tlustější. Vnější segment čípků je pokryt blanou. [6]

4.2 Vnímání barev

Proces vnímání se vztahuje na geometrii předmětu, umístění v prostoru a jejich barvu. Barvu lze chápat jako zrakový vjem podmíněný rozdílným spektrálním složením světla. [6] Pojem barva je velmi mnohoznačný. Nejčastěji je spojován s vjemem, který je zprostředkován lidským okem. Dále se pojem barva užívá v praxi tehdy, pokud se hovoří o barvě světla nebo barvě předmětu. Vjem barvy je ovlivněn fyzikální povahou světla, fyziologickými ději na sítnici oka a v mozku, psychologickou interpretací fyziologické reakce, psychosomatickým stavem organismu pozorovatele. Světelná podráždění, které oko vnímá, rozdělujeme podle barev. Vnímané barvy se rozdělují do dvou skupin: achromatické a chromatické. [11]

Mezi achromatické barvy patří barva bílá, černá a šedá, která vzniká mícháním bílé a černé barvy. Světelné spektrum neobsahuje achromatické barvy.

Mezi chromatické barvy patří všechny pozorované barvy, kromě bílé, černé a šedé barvy. Chromatické barvy obsahují spektrální barvy obsažené ve spektru. Jsou charakterizovány vlnovou délkou. [6] Dělíme je podle spektrálního složení na jednoduché nebo složené. K jednoduchým barvám patří tzv. monochromatické barvy, které jsou vyvolány zářením jedné vlnové délky, složené barvy jsou určeny spektrálním průběhem přes více vlnových délek. Chromatickou barvu lze charakterizovat třemi

hodnotami: barevným tónem (odstín), čistotou (sytost) a jasnem.

Další skupinou jsou purpurové barvy, které nelze získat mícháním spektrálních ani jiných barev. Neodpovídá jim žádná vlnová délka spektra. Označující se vlnovou délkou doplňkové spektrální barvy. [11]

4.2.1 Barevný tón

Podle barevného tónu lze chromatickou barvu přirovnat k některé ze spektrálních barev. Tímto pojmem lze charakterizovat i složení barvy, které oko vnímá jako určitý světelný impuls (barva červená, zelená atd.). Proto je možné složené barvy přesně definovat vlnovou délkou. [11] Teplota chromatičnosti charakterizuje barevný tón. Vyjadřuje se v kelvinech.

4.2.2 Čistota

Čistota je vyjádřena relativním podílem intenzity světla v dané oblasti spektra proti celkové intenzitě. [11]

4.2.3 Jas

Jas je vyjádřen svítivostí plochy světelného zdroje a průmětu této plochy do roviny kolmé k ose, na které je jas měřen. Při nízkém osvětlení vnímá lidské oko jenom jas, předměty se stávají šedými, popř. černými. Oko snáze postřehne změny v jasu než v barvě. [11] Osvětlený předmět rozeznáváme zrakem, protože se v zorném poli objevují místa s rozdílným jasnem (kontrastem jasů). U osvětlovaného tělesa je jas měřítkem pro vjem světlosti. Oko vnímá desetitisíciny až tisíce cd/m^2 . Velikost jasu je ovlivňována velikostí osvětlení. [21]

4.2.4 Míšení barev

Míšení světél jednotlivých odstínů je aditivní míšení. Oko vnímá výslednou barvu aditivním mícháním barev. [6] Míšení jednotlivých pigmentových barev je subtraktivní míšení. Mezi primární pigmentové barvy patří purpurová, azurová a žlutá, mezi primární světelné barvy patří červená, zelená, modrá. Skládání pigmentových barviv má opačný výsledek než skládání jednotlivých odstínů světél. Smícháním primárních pigmentových barev se získá barva černá a smícháním primárních světelných barev se získá světlo bílé. [11]

4.2.5 Purkyňova oblast

Purkyňova oblast leží mezi fotopickým a skotopickým viděním. V činnosti jsou tyčinky a více nebo méně čípky. Proti normálnímu fotopickému vidění se projevuje změna barev. Oko je v této oblasti citlivější na modrou část spektra. Na subjektivním vnímání barev se kromě Purkyňova jevu a adaptační schopnosti oka, která je ovlivněna únavou, podílejí i anomálie barevného vidění: trichromatické, dichromatické a monochromatické. [11]

Lidské oko při dostatečných jasech vnímá jednotlivé barvy, má určitou spektrální citlivost. Maximum spektrální citlivosti se při zvyšování jasu nemění, ale s ubýváním jasu světla do určité meze se mění i spektrální citlivost oka. Mění se ve smyslu, že maximum spektrální citlivosti se posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám světla. Za denního osvětlení se předmět červený a modrý zdá stejně jasný, za soumrakového osvětlení se modrý předmět jeví jasnější než červený. [6]

4.3 Barvocit

Barevné vidění je komplikovaný psychologický proces, jehož podkladem je neporušená činnost oka, zrakové dráhy a příslušných mozkových center. [12] Vyšetřování barvocitu stále nabývá většího významu, protože správné barevné vidění hraje důležitou roli v mnoha různých oblastech našeho života. Důležité zprávy jsou často vyjadřovány barevnými signály. Barevné značení je používáno i v průmyslu (potrubí, chemické kontejnery), reklamě apod. [26] Při testování jsou rozhodující tři faktory: barevný tón, sytost barvy a jas. Důležitou roli hraje i hladina okolního osvětlení. [8]

Barvocit je schopnost rozeznávat barvy, což umožňují čípky v sítnici, které obsahují látky citlivé na světlo. Člověk fyziologicky vnímá asi 150 barev v rozsahu viditelného světla, celkově však více jak 2 000 odstínů. Barevný vjem vzniká podrážděním sítnice energií světla a jejich vzájemným míšením. [12] Tři skupiny čípků obsahují tři pigmenty, jejichž absorpční maxima jsou v oblasti modré (440 – 450nm), zelené (535 – 555nm) a žluté nebo červené barvy (570 – 590nm). [8]

4.3.1 Poruchy barvocitu

Oko se třemi druhy fotochemicky aktivních barviv se nazývá trichromazie. Každý receptor je drážděn příslušnou barvou, ale z části i barvami ostatními. Bílé světlo dráždí všechny tři mechanismy stejně. [6] Do skupin anomálních trichromazií řadíme

protanomálii (porucha vnímání červené) a deuteranomálii (porucha vnímání zelené). Pacienti s monochromazií mají pouze jeden čípkový pigment. Pacienti s tyčinkovou monochromazií nemají žádný čípkový fotopigment. [8]

Četnost výskytu poruch barvocitu je v populaci asi 8,5%. Z toho na muže připadá 8% a na ženy 0,5%. Poruchy barvocitu mohou být získané nebo vrozené, které jsou závažnější. Vrozené poruchy jsou dědičné. Při úplné barvosleposti je často přidružen i značný pokles zrakové ostrosti, obvykle se také vyskytuje nystagmus a světloplachost. Získané poruchy barvocitu mohou mít příčinu ve změněné průhlednosti optických prostředí (katarakta, afakie), afekcích sítnice (zhoršené vnímání modrozluté složky), v postižení zrakové dráhy (porucha vnímání červenozelené složky), zelený zákal (změna rozsahu zorného pole pro barvy) atd.

Další skupinou získaných poruch barvocitu jsou tzv. chromatopsie (barevné vady přechodného rázu), xantopsie (žlutavé vidění vznikající např. při žloutence), erytropsie (červené vidění dostavující se např. po oslnění oka), chloropsie (zelené vidění), kyanopsie (modré vidění) a iantinopsie (fialové vidění). U posledních tří zmíněných poruch barvocitu je jejich výskyt mnohem vzácnější. [12]

Je několik způsobů zjišťování barvocitu. Například barevnými bavlňkami, nebo pomocí tabulek obsahujících body různých barev a různého jasu. Barevné body vytvářejí různé číslice, písmena, geometrické tvary. Značky podobného jasu jsou zobrazeny náhodně, pacientovi s poruchou barvocitu nedovolí správné určení znaků. K přesné specifikaci poruch barvocitu se používá anomaloskop. Pacient porovnává dvě poloviny zorného pole, kdy v jedné z nich je žlutá barva a v druhé je směs červené a zelené barvy v měnitelném poměru. Pacient pomocí šroubů mění směs barev v druhém poli, aby dosáhl stejného barevného tónu v obou polích. Pacienti s protanomálií k tomu potřebují více červené, s deuteranomálií více zelené. [8]

4.3.2 Vady ovlivňující barvocit

Zdravé oko se označuje jako emmetropické, kdy se paprsky dopadající na rohovku po lomu lomivými prostředními spojují v jediném bodě sítnice. Vznikají dva druhy refrakčních vad (ametropické vady). Oko krátkozraké se označuje jako myopické a oko dalekozraké jako hypermetropické. Emmetropické oko vytváří také jisté nedokonalosti, mezi které patří chromatická a sférická aberace, astigmatismus, neúplné centrování a zákaly uvnitř oka. [7]

4.3.2.1 Chromatická aberace

Podstatou chromatické aberace je, že krátkovlnné světelné paprsky se lámou více než dlouhovlnné. Ohnisko fialových paprsků leží o 0,6mm blíže rohovce, než ohnisko červených paprsků. Následkem je, že oko nemůže akomodací dosáhnout skutečného zobrazení bílého bodu. Bod se zdá zabarven a obklopen barevným rozptylovým kruhem. Bílá plocha vzniklá překrýváním různých barev se zdá skutečně bílá, pouze okraje jsou barevně lemovány. Paprsky bližší fialové části spektra (lomivější), se protínají dříve než paprsky méně lomivé. [7]

4.3.2.2 Sférická aberace

Paprsky paralelní s osou se nesbíhají všechny v ohnisku, ale okrajové paprsky mají kratší ohniskovou vzdálenost, než paprsky centrální. Proto i bod svítící monochromatickým světlem (elektromagnetické záření jediného kmitočtu), nedává bodový obraz, ale rozptylový kruh nacházející se na ploše kolmé k optické ose. [7]

4.3.2.3 Nystagmus

Člověk místo barevných tónů vnímá jen rozdíly ve světlosti. Dva rozdílné barevné tóny jsou vnímány identicky, když je jejich světlost shodná. [7]

4.3.2.4 Úplná barvoslepost

Úplná barvoslepost (skotopické vidění) je monochromatické nebo achromatické vnímání barev. Okolní svět je vnímán jako černobílá fotografie, s odstupňováním různých stupňů jasu. [12] Skutečná barvoslepost se vyskytuje u 0,001% populace a u obou pohlaví se vyskytuje ve stejné míře. [15]

4.3.2.5 Dichromatické vnímání barevutlumen

Dichromatické vnímání barev znamená, že čípek buď neexistuje vůbec, nebo je úplně utlumen přenos signálu. U dichromatického vnímání barev jsou ve spektru místa, které pozorovatel vidí šedě. Mluvíme o protanopii, deuteranopii a tritanopii.

1. Protanopie je absence L (červeného) čípku
2. Deuteranopie je absence M (zeleného) čípku
3. Tritanopie je absence S (modrého) čípku [15]

4.3.2.6 Trichromatické anomální vnímání barev

V praxi se než s úplným výpadkem barvy setkáváme se sníženým vnímáním barev, které označujeme jako anomálie. Anomálií barevného vidění trpí 8 až 10% populace. [15] U trichromatického vnímání barev je signál z jednoho čípků snížen vlivem menšího počtu čípků nebo je částečně utlumen signál z čípků. Podle zeslabené činnosti jednoho z čípků rozlišujeme tři typy trichromatického vnímání barev. Přitom v činnosti jsou všechny tři typy čípků. [15]

1. Protanomálie se vyznačuje zeslabením červených čípků. Protanomálie je způsobena posunutím a zvýšením křivky citlivosti k červenému světlu směrem ke kratším vlnovým délkám s maximem téměř až k žluté barvě. [6] Protanopové mají výrazně sníženou citlivost nad 600 nm. [16]
2. Deuteranomálie se vyznačuje zeslabením zelených čípků vlivem posunutí křivky citlivosti k zelenému světlu k delším vlnovým délkám.
3. Tritanomálie se vyjadřuje zeslabením modrých čípků danou necitlivostí k modré barvě. [6]

5 Design pro pomoc

V České republice se designem pro handicapované osoby zabývá MgA. Veronika Loušová ve spolupráci s Tyfloservisem, který zajišťuje rehabilitační služby pro osoby s postižením zraku. Odborné konzultace pro slabozraké poskytuje Ladislava Šporová a Mgr. Pavel Macháček. [22] Pro maximální využití zesláblého zraku je zásadní využití barevných kontrastů a použití vhodného osvětlení. Požadovaného vysokého jasového a barevného kontrastu docílíme kombinací barvy světla a barev předmětů. Prostředí bez barevného kontrastu nebo naopak výrazné barevné řešení ztěžuje orientaci v prostoru. [21]

5.1 Osvětlení

Nesprávné osvětlení ovlivňuje nepříznivě rozlišovací schopnosti oka, snižuje kvalitu hloubkového vidění, způsobuje oční únavu. Světelné podmínky mají pomoci v maximální možné míře využít zrakový potenciál. Dalším aspektem je barva světla, kterou rozeznáváme podle poměru červené a modré složky záření ve světelném spektru. Bez světla nevidíme. [22] Typ vhodného osvětlení se volí podle činnosti, na kterou si chce osoba posvítit, v jakém prostředí a v jaké roční době. Podmínky osvětlení jsou odlišné pro různé zrakové vady. Velký význam má intenzita osvětlení, kontrast, rozložení jasů, barva světla a barva předmětů, rovnoměrnost osvětlení a oslnění. Pro orientaci v prostředí se za základní bezpečnou hodnotu intenzity umělého osvětlení považuje intenzita 20 lx. [21]

5.2 Barva světla a předmětů

Základní barevnost předmětů většina lidí rozliší při osvětlení vyšších než 10 lx. Z pohledu rozpoznání barev je z umělých zdrojů nejvhodnější žárovka. Barva povrchů je ovlivněna odrazivostí a pohlcováním částí viditelného spektra. Prvním předpokladem při tvorbě barevného řešení je použití syté barvy. Asi 80 až 90% světla odráží zářivě bílá barva. Švýcarský optometrista R. Kutscha lidem s kataraktou doporučuje zdroje s nižší teplotou chromatičnosti. Žárovky s nižší teplotou chromatičnosti obsahují více červené složky světla. Při potlačení modré složky světla se velikost zorničky zvětšuje a větší díl světla vstupuje do oka. [21]

6 Experimentální část

V diplomové práci se porovnávaly výsledky hodnot barvocitu u osob s kataraktou a osob s bezdefektním vnímáním barev. Studie rozlišování barev u osob s kataraktou se provedla na Očním oddělení Krajské nemocnice Liberec a. s. Pro měření vad barvocitu se použil Farnsworth – Munsell 100 Hue Test a kolorimetrická skříň GretagMacbeth Judge II.

Pokud je pacientovi u jeho očního lékaře stanovena katarakta, je objednáán na předoperační vyšetření na Oční oddělení Krajské nemocnice Liberec a. s. Po předoperačním vyšetření je stanoven termín operace. Operace šedého zákalu se provádějí každý den. První vyhodnocení testů pacientů s kataraktou proběhlo v den operace, kdy se test skládal ještě před anestézií oka pomocí kapek. Do připraveného dotazníku se zaznamenalo pohlaví a věk testované osoby, čas potřebný k vyhotovení testu, datum měření, číselné značení barevných záměn pigmentů.

Následná pooperační kontrola se ve všední dny provádí u pacientova očního lékaře. Tato skutečnost ztížila měření barvocitu po operaci. Pouze pacienti operovaní v pátek, se na pooperační kontrolu vrací zpět na Oční oddělení následující den. Z uvedeného důvodu se měření barvocitu testovalo den po provedení operačního zákroku.

6.1 Farnsworth – Munsell 100 Hue Test

Jako velmi účinná metoda měření individuálního barevného vidění se používá Farnsworth – Munsell 100 Hue Test. Vlastní test se skládá ze 4 oddělených zásobníků uskladněných v dřevěném kufříku (viz. obr. 9a) Zásobníky obsahují celkem 93 kapslí s pigmenty. Z celkového počtu kapslí je 85 kapslí odnímatelných. Krajních 8 kapslí je pevných, jedná se o řídicí barvy. Zadní strany odnímatelných kapslí s pigmenty jsou označeny číselnou řadou, kvůli vyhodnocení výsledků, určení záměny pořadí kapslí v zásobníku. První zásobník je označen čísly 85 - 21, druhý zásobník 22 - 42, třetí zásobník 43 - 63 a poslední čtvrtý zásobník 64 - 84. U prvního zásobníku začíná řada 84 a pokračuje číselnou řadou od 1 do 21. [26]



Obr. 9 Farnsworth – Munsell 100 Hue Test

- a) Farnsworth – Munsell 100 Hue Test: obsahující 4 oddělené zásobníky v kufříku,
- b) Farnsworth – Munsell 100 Hue Test: oddělené zásobníky s odnímatelnými pigmenty

6.1.1 Materiál

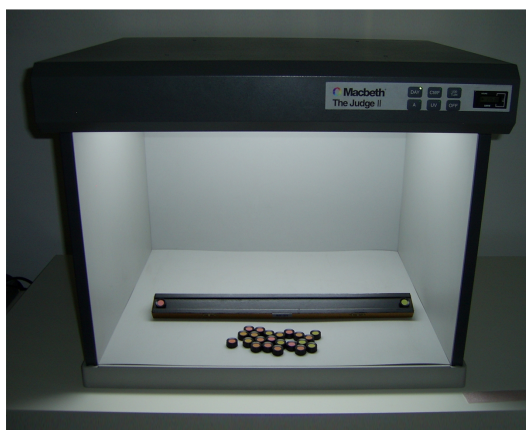
Pigmenty v plastové kapsli jsou vyrobeny z nejstabilnějších materiálů (viz. obr. 9b). I přesto nemají být pigmenty vystaveny po dlouhou dobu světlu. Pigmenty jsou matné, aby jejich spektrální charakteristiky byly ze všech úhlů stejné. Pokud bude pigment poškozený nebo rozmazaný, má být nahrazen novým. Při normálním používání by pigment měl být nahrazen jednou za dva až čtyři roky. Při hodnocení testu, se hodnotitel nesmí dotýkat vlastních pigmentů, protože jsou citlivé na dotek. Velmi malé znečištění nemá vliv na vyhodnocení testu. Pigmenty se uchopují za umělohmotné kapsle, ve kterých jsou pigmenty umístěny.[26]

6.2 Kolorimetrická skříň GretagMacbeth Judge II

Existuje několik možností osvětlení, které je vhodné pro vyhodnocování testu Farnsworth – Munsell 100 Hue Testu. V diplomové práci byla využita kolorimetrická skříň GretagMacbeth Judge II (viz. obr. 10a). Pro měření barvocitu byla v nemocnici vyhrazena samostatná místnost, ve které bylo možné zatemnit okna. Interiérová osvětlení byla při zkoušce vypnuta. Úhel osvětlení je 90 stupňů a úhel zobrazení je 45 stupňů (viz. obr. 10b). Pro přesné vyhodnocení výsledků hodnotitelem musí být dodrženy stanovené podmínky pro měření. Jednou z možností nasvícení zásobníků s pigmenty je použití kolorimetrické skříně. Vyvážené světlo odpovídá nebo překračuje mezinárodní normy pro vizuální hodnocení barev. Rozměry kolorimetrické skříně: výška 56,5 cm, šířka 68,6 cm a hloubka 56,5 cm. Ovládání kolorimetrické skříně je pomocí membránové klávesnice umístěné v horní části. Pro volbu světelného zdroje se navolil tlačítkový štítek s označením Day, pro normalizovanou zářivku F7 (teplota chromatičnosti 6500 K). Kolorimetrická skříň je rozložena do několika částí umístěných v textilním kufru. Kufr obsahuje přívodní kabel, základnu, boční a zadní stěnu, podpěry a vrchní část se zářivkami. [26]



a)



b)

Obr. 10 Kolorimetrická skříň GretagMacbeth Judge II

a) Rozložená kolorimetrická skříň GretagMacbeth Judge II, b) Sestavená kolorimetrická skříň GretagMacbeth Judge II s vloženým zásobníkem

6.3 Použití FM 100 Hue Testu

Aby bylo možné výsledky barvocitu mezi sebou porovnávat, musí se dodržovat stanovené podmínky a postupy testování. [26]

1. Před vlastním testováním barvocitu je hodnotitel obeznámen s principem testu a potřebným časem pro jeho vyhotovení. Hodnotitel se posadí před kolorimetrickou skříň. Před pozorovatele se podélně otevře jedna kazeta, která je prázdná, obsahuje pouze dvě řídící barvy a je nakloněná k pozorovateli. Kazety mohou být pozorovateli podávány v náhodném pořadí. Před prázdnou kazetou v kolorimetrické skříni jsou umístěny v náhodném pořadí pigmenty, u kterých hodnotitel určuje správné pořadí dle barevné odchylky.

2. Podstata zkoušky spočívá ve vytvoření barevné řady ve stanoveném čase. Hodnotitel má kapsle umístěné před kazetou přenést do kazety tak, aby pigmenty vytvořily pravidelné barevné řady mezi dvěma řídícími barvami. Hodnotitel má na určení pořadí pigmentů v jedné kazetě dvě minuty. Přesnost v určování pořadí pigmentů je důležitější než rychlost vykonání testu. Hodnotitel je po dvou minutách upozorněn na vypršení určeného časového úseku, ale zásobník se neodebírá. Hodnotitel musí uspořádat kapsle jak nelépe dovede, ale nesmí zahálet. Pokud subjekt není spokojen s pořadím pigmentů, je mu poskytnuto více času na dokončení úkolu. Celý test trvá 10 minut. Subjektu se umožní pracovat do doby, až je spokojen s pořadím pigmentů. Test však musí trvat nejdéle 15 minut, protože se všem subjektům musí poskytnout stejné podmínky pro hodnocení testu.

3. Je důležité se ujistit, zda subjekt porozuměl principu testu a pochopil, co se po něm žádá. Pokud subjekt hodnocení testu neporozuměl, je zapotřebí se pokusit mu test znovu vysvětlit.

4. Po odebrání poslední kazety se zaznamená čas, který byl potřebný k dokončení celého testu a datum testování.

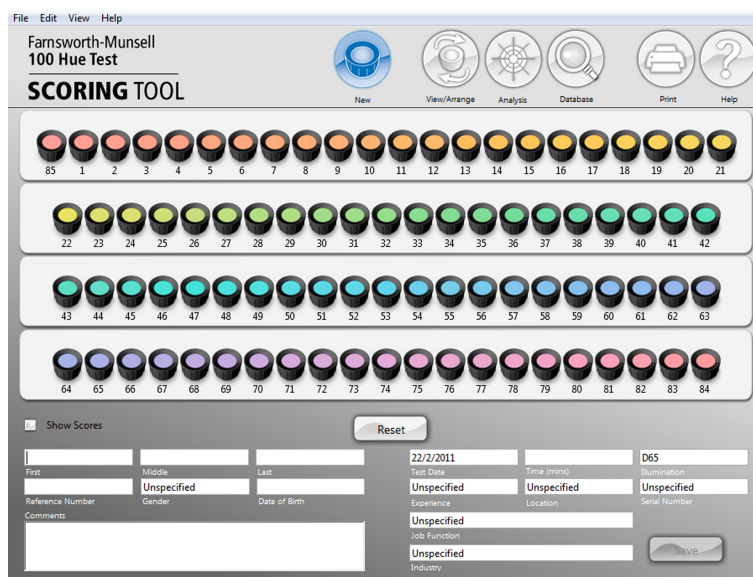
5. Výsledky testu (číselnou řadu) je vhodné si zaznamenávat po odebrání jednotlivých kazet nebo po odebrání poslední kazety si zaznamenat všechny číselné řady najednou. [26]

6.3.1 Vyhodnocování výsledků pomocí FM Hue Test Scoring Software

Získané číselné řady se zadávají do FM Hue Test Scoring Softwaru. Vstupní obrazovka softwaru představuje schematické znázornění FM 100 Hue Testu s pigmenty uspořádanými ve čtyřech kazetách. Uspořádání kazet na vstupní obrazovce je ve správném pořadí. Odpovídá osobě s vynikající barevnou rozlišovací schopností.

Získané číselné řady se zadávají do vyhodnocovací softwaru pomocí tzv. Drag & Drop. Stiskem levého tlačítka myši uchopíme (Drag) pigment, levé tlačítko myši je stisknuto a pohybem kurzoru umístíme kapsli nad nové místo určení a pak upustíme (Drop) pigment uvolněním tlačítka myši. Kapsle se dostane na novou pozici, ostatní kapsle se v řadě posunou. Posunem v řadě se zaplní vzniklá mezera.

Vstupní obrazovka (viz. obr. 11) je připravena k novému zadávání dat (New). Test byl vyhodnocován jako anonymní. V opačném případě se do vstupní obrazovky zadává křestní, popř. prostřední jméno a příjmení, pohlaví, datum narození, lokace, pracovní funkce, pracovní zařazení, zkušenosti na pozici, komentář. Komentář slouží k zadávání upřesňujících informací, jako je nálada a rozpoložení pacienta (rozrušený), zdravotní stav (bolest hlavy) apod. Datum a čas testování (minuty) se zadává i u anonymního vyhodnocení testu. Po zadání požadovaných údajů se test uloží do databáze, ze které ho lze zpětně vyvolat (ikona pohled/upravit) a i následně provést případné změny v zadaných údajích či hodnotách testu. [26]



Obr. 11 Výchozí obrazovka FM 100 Hue Test Scoring Softwaru

6.3.2 Výstupní data

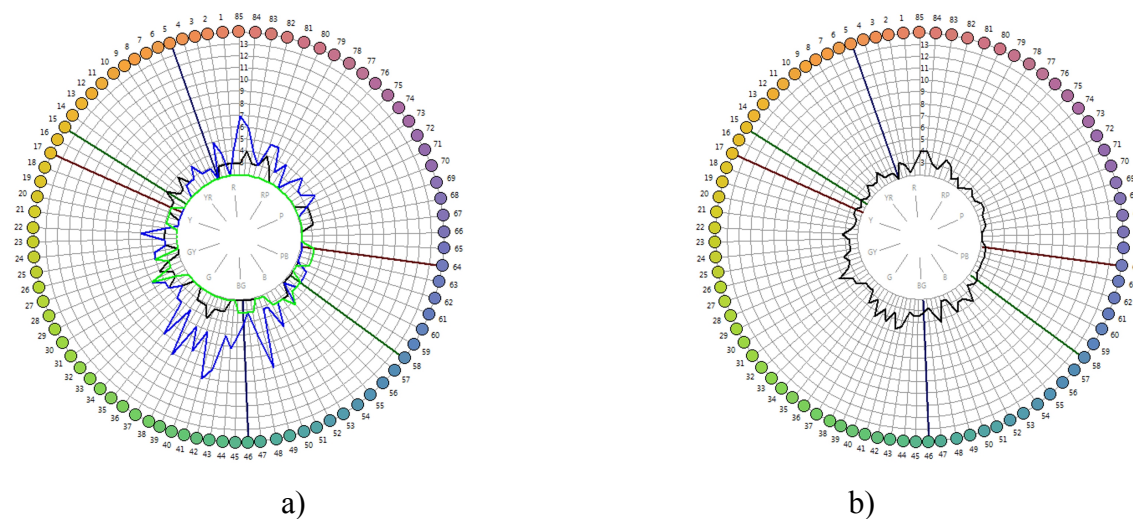
Pro vyhodnocování výsledků byl vyvinut vyhodnocovací software pro urychlení a zjednodušení vyhodnocování FM 100 Hue testu. Poskytuje výkonnou sadu analytických a administrativních nástrojů. Výstupní data jsou předkládány ve dvou formátech. První formát, více používaný je polární graf, druhý formát je lineární graf. Grafy jsou přístupné výběrem polárního nebo lineárního grafu z pole zobrazit nebo výběrem z analýzy v panelu nástrojů. Výsledky mohou být uloženy na disku, zobrazené v polárním nebo lineárním formátu a filtrované podle různých algoritmů. Program umožňuje produkovat kvalitní grafický výstup na displeje, tiskárny, plotery. Tisk je zahájen kliknutím na ikonu tiskárny nebo v menu Soubor a výběrem Tisk. Alternativně lze data nebo grafiku exportovat jako PDF soubor z menu Export nebo zkopírováním do schránky z nabídky Úpravy. [26]

6.3.2.1 Polární graf

Jedním z předkládaných výstupů FM Hue Test Scoring Softwaru je polární graf. Očíslované kapsle (1 - 85) jsou znázorněny po obvodu polárního grafu v radiálních linkách. Úhlová rozteč radiálních linek není shodná. Pro každou kapsli se chybné výsledky vykreslují zvlášť. Pokud má subjekt vynikající barevnou rozlišovací schopnost, kapsle jsou všechny ve správném pořadí a polární graf je vykreslen jako dokonalý kruh kolem vnitřního obvodu představující chybné skóre dva. Tmavší kruhy odpovídají chybnému skóre 5, 10 atd. pomáhají s výkladem grafu. V praxi je jen málo lidí, kteří jsou schopni dosáhnout vynikajícího výsledku a polární graf ukazuje řadu paprsků znázorňující kapsle, které byly uvedeny v nesprávném pořadí. Čím větší je vzdálenost bodů paprsků od vnitřního obvodu, tím má subjekt v daném odstínu horší diskriminaci. Škálu barev, ve které má subjekt snížený barvocit lze zjistit přímo z grafu.

Jedinci s normálním barevným viděním dělají chyby, které jsou více či méně náhodně rozmístěné kolem vnitřního obvodu. Jedinci, kteří mají vadu barvocitu inklinují k dělání chyb ve dvou oblastech, na opačných stranách kruhu, kdy se ve výběru stylů může zapnout přehled os značících barevné záměny. Pozice středního bodu v chybách určuje typ špatného vnímání barev. Střed výkyvů pro určení typu vady se nejlépe rozlišuje na pravé straně grafu. U protanopů je pozice středního bodu v chybách mezi 62 a 70 kapslí, u deutaranopů je mezi 56 a 61 kapslí, u tritanopů mezi 46 a 52 kapslí. [26]

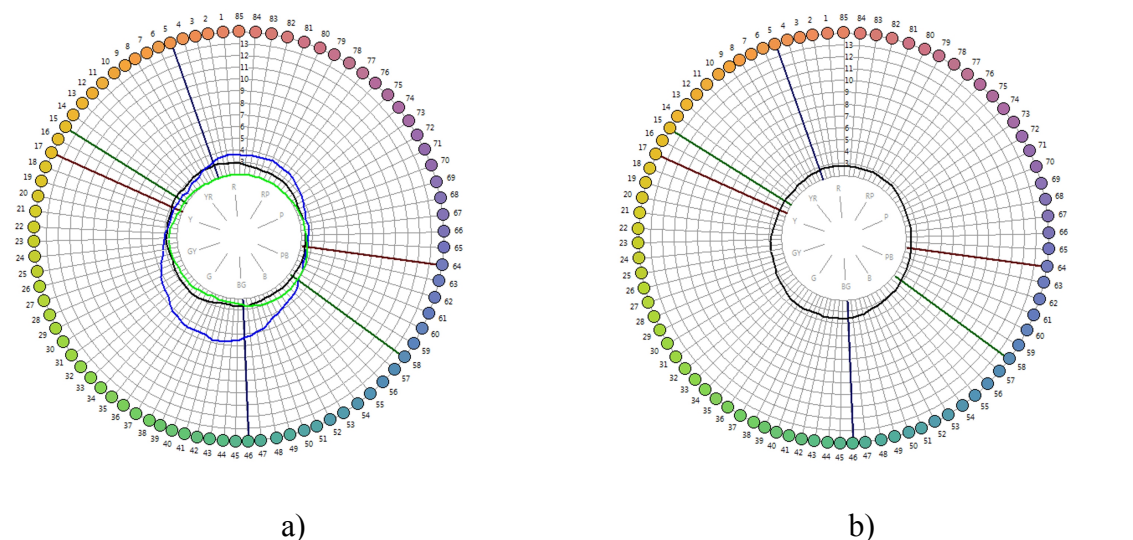
Polární i lineární grafy lze i zprůměrovat. Pro vytvoření průměru z několika sad měření je podmínkou výběr dat, které se budou průměrovat. Zobrazí se grafy vybraných osob (viz. obr. 12a). Po zprůměrování dat dostaneme jeden výsledný graf (viz. obr. 12b). [26]



Obr. 12 Polární graf se znázorněnými chybami

a) Polární graf s chybami znázorněnými pro tři hodnotitel, b) Polární graf se zprůměrovanými chybami tří hodnotitelů

Dále můžeme v panelu model aktivovat políčko filtr. Po jeho aktivování lze data z polárního nebo lineárního grafu proložit křivkou (viz. obr. 13a) a křivky zprůměrovat (viz. obr. 13b). Filtrování je užitečné pro interpretaci rušivých dat. [26]

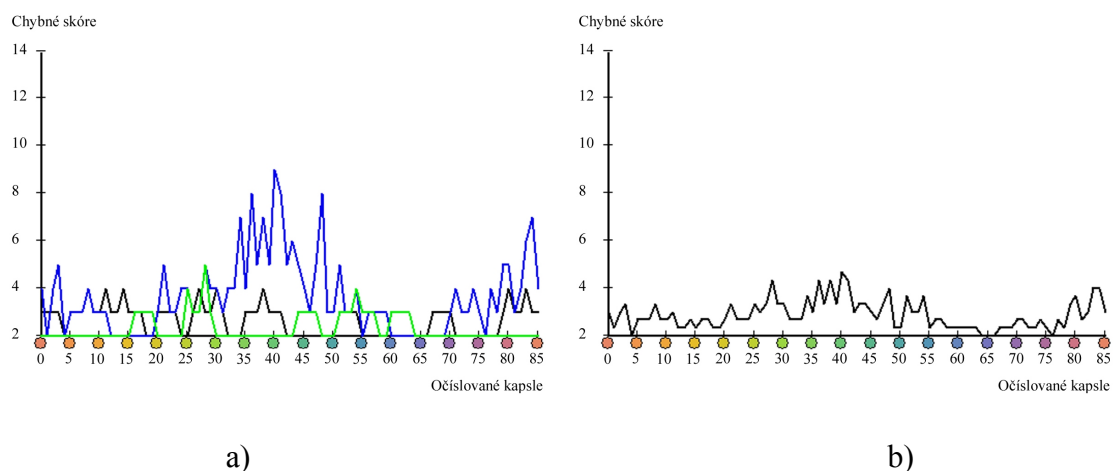


Obr. 13 Polární graf proložený křivkou

a) Polární graf proložený křivkou pro tři hodnotitele, b) Polární graf proložený zprůměrovanou křivkou ze tří měření

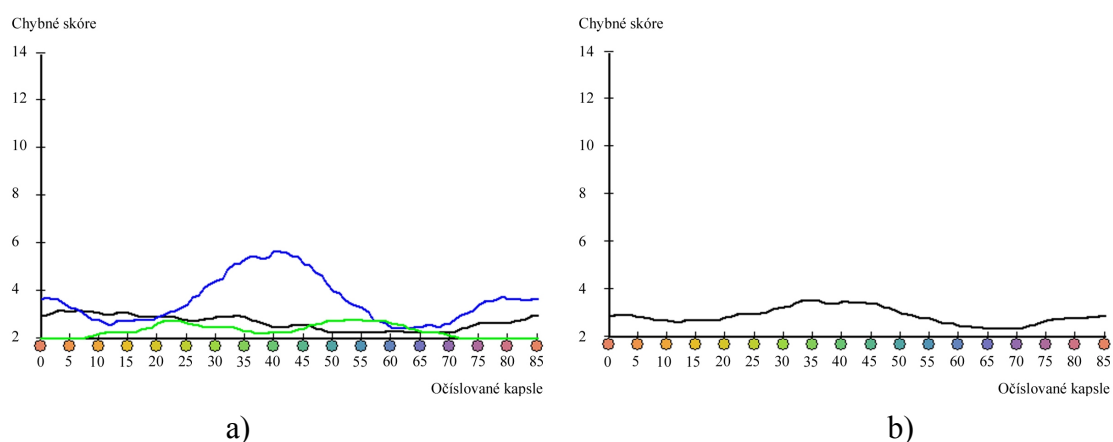
6.3.2.2 Lineární graf

Dalším z předkládaných výstupů FM Hue Test Scoring Softwaru je lineární graf. Očíslované kapsle (1 - 85) jsou zastoupeny kolem osy x a chyby skóre se zaznamenávají na osu y. Jako u polárního grafu lze znázornit více měření do jednoho grafu (viz. Obr. 14a) a data následně zprůměrovat (viz. obr. 14b) nebo proložit křivkou (viz. obr. 15a) a křivky zprůměrovat (viz. obr. 15b). [26]



Obr. 14 Lineární graf se znázorněnými chybami

a) Lineární graf se znázorněnými chybami pro tři hodnotitele, b) Lineární graf se zprůměrovanými chybami tří hodnotitelů



Obr. 15 Lineární graf proložený křivkou

a) Lineární graf proložený křivkou pro tři hodnotitele, b) Lineární graf proložený zprůměrovanou křivkou ze tří měření

6.3.3 Interpretace dat

Existují různé způsoby interpretace výsledků, v závislosti na informaci, která byla požadována. Subjekty s normálním viděním lze klasifikovat do skupin s vynikajícím, průměrným a nízkým barvocitem na základě celkové chyby skóre. FM Hue test nabízí jednoduchou metodu pro testování rozlišování barev. Kromě klasifikace do skupin určuje oblasti záměny barev u osob s vadou barvocitu. [26]

6.3.3.1 Vynikající diskriminace

Asi 16% populace (bez barevných vad) má vynikající barvocit. Aby osoba spadala do vynikajícího barvocitu, musí při prvním zkoušce testu udělat maximálně 4 chyby, což odpovídá celkovému chybnému skóre 16 bodů. Toto je oblast vynikající způsobilosti pro rozlišování barev. [26]

6.3.3.2 Průměrná diskriminace

Asi 68% populace (bez barevných vad) má průměrný barvocit. Celková chyba skóre je mezi 20 a 100 při prvním testu. To je stanovená hranice pro průměrnou způsobilost rozlišování barev. Chyba skóre normálního vidění je často vyšší než u mnoha barevných vad, ale tito jednotlivci nevykazují typickou vadu barvocitu. Obecné rozlišování barev je nezávislé na vadě barvy. Proto je možné, že některé osoby s normální diskriminací mají horší barevnou rozlišovací schopnost, než některé osoby s barevnou vadou. [26]

6.3.3.3 Nízká diskriminace

Přibližně 16% populace (bez barevných vad) má chybné skóre vyšší než 100. První opakování testu může ukázat zlepšení, ale další opakování testu už skóre prakticky neovlivní. Opakované testy neukážou žádnou oblast maximální nebo minimální citlivosti, tak jak jsou nacházeny u vzoru defektního vnímání barev. Opakovaný test se provádí až po několika hodinách nebo dnech. Celková chyba skóre představuje barevnou rozlišovací schopnost jednotlivce v daném okamžiku. Je možné, že schopnost rozlišovat barvy se může zvýšit v pozdější době v důsledku dalšího vzdělávání a zkušeností. Vzor barevných vad je identifikován pomocí bipolarity, kdy se maximální chyby seskupují ve dvou oblastech, které jsou téměř opačné. [26]

7 Hodnoty měření barvocitu

Před operací katarakty se měření barvocitu zúčastnilo 32 osob, po operaci se testování podrobilo již jen 27 pacientů. Měření po operaci proběhlo po pooperační kontrole. Výsledky hodnot barvocitu pro osoby s kataraktou se vyhodnocovaly zvlášť pro muže a pro ženy.

Z obou skupin bylo zapotřebí vyloučit výsledky, které byly vyhodnoceny při nevyhovujících fyzických a psychických faktorech. Ze statistického zpracování výsledků se vyloučili pacienti, kteří se nezúčastnili pooperačního testování (5 pacientů). Dále se vyloučili pacienti, kteří měli z konkrétního identifikovaného důvodu zhoršení barvocitu po operaci. Ze skupiny mužů byl vyloučen pacient ve věku 61 let (viz. tab. 1). Test po operaci pacient vyhodnocoval v časové tísni a test tudíž nebyl kompletní.

Ze skupiny žen byly vyloučeny dvě pacientky. U první pacientky ve věku 64 let došlo ke zhoršení barvocitu z důvodu dalekozrakosti, kdy si pacientka sebou nepřinesla dioptrické brýle (5 dioptrií) a měla jen omezenou zrakovou ostrost (viz. tab. 10). U druhé pacientky ve věku 73 let nastaly pooperační komplikace ve formě otoku rohovky (viz. tab. 10). Zmíněné tři osoby byli proměřeni před i po operaci katarakty a jejich výsledky jsou pro úplnost uvedeny v tabulkách hodnot barvocitu, ale v hodnocení testovaných skupin se s nimi dále nepracovalo.

7.1 Úspěšnost operace šedého zákalu z hlediska barevného vidění

Výsledky operace z hlediska barvocitu byly hodnoceny zvlášť podle pohlaví. Změna barvocitu se vyhodnotila z naměřených hodnot barvocitu před operací a po operaci šedého zákalu.

$$x = \frac{E_{S0} - E_{S1}}{E_{S0}} \cdot 10^2 \%$$

kde: x . . . změna barvocitu [%]

E_{S0} . . . naměřená hodnota barvocitu před operací šedého zákalu [1]

E_{S1} . . . naměřená hodnota barvocitu po operaci šedého zákalu [1]

7.2 Testování homogenity

Pro sestrojení krabicového grafu se stanovil medián, dolní a horní kvartil, minimální a maximální hodnota měření, mezikvartilové rozpětí a meze stanovující hranici pro vybočující měření. Po stanovení vybočujících měření se určily průměrné hodnoty, rozptyly, směrodatné odchylky a variační koeficienty. Zjistily se intervaly spolehlivosti.

Průměrná hodnota

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

kde: \bar{x} . . . aritmetický průměr hodnot barvocitu

x_i . . . hodnota i – tého měření

n . . . celkový počet měření

Rozptyl

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

kde: s^2 . . . rozptyl

x_i . . . hodnota i – tého měření

\bar{x} . . . aritmetický průměr barvocitu

n . . . celkový počet měření

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{s^2}$$

kde: s^2 . . . rozptyl

s . . . směrodatná odchylka

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

kde: v . . . variační koeficient

s . . . směrodatná odchylka

\bar{x} . . . aritmetický průměr

7.3 Změna barvocitu osob s kataraktou

Testování homogenity dat se určovalo z procentuálního zlepšení barvocitu u skupiny mužů a žen, dále z hodnot barvocitu před operací mužů a žen, z hodnot barvocitu po operaci mužů a žen, u mužů z průzkumu do 50 a nad 50 let a žen z průzkumu do 50 a nad 50 let.

7.3.1 Muži

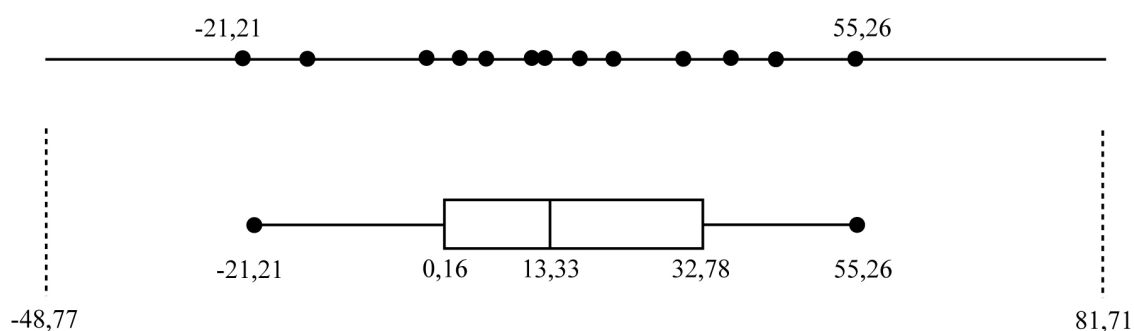
V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty barvocitu před a po operaci katarakty u pacientů mužského pohlaví. Z naměřených hodnot barvocitu před operací a po operaci se vypočítala změna barvocitu v procentech (viz. tab. 1). Z hodnot změn barvocitu před a po operaci se určily veličiny potřebné pro testování homogenity (viz. tab. 2). Z určených dat se dále sestrojil krabicový graf (viz. obr. 16).

Tab. 1 Změna barvocitu u mužů s kataraktou

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu před operací [1]	Hodnota barvocitu po operaci [1]	Změna barvocitu [%]
1.	61	56	104	-87,71
2.	79	132	160	-21,21
3.	76	172	200	-16,28
4.	79	168	172	-2,38
5.	62	148	144	2,70
6.	78	464	436	6,03
7.	76	212	184	13,21
8.	76	240	208	13,33
9.	71	248	204	17,74
10.	68	256	200	21,88
11.	82	480	336	30,00
12.	59	180	116	35,56
13.	66	320	184	42,50
14.	78	152	68	55,26

Tab. 2 Testování homogenity hodnot barvocitu u mužů s kataraktou

Medián \tilde{x}	[%]	13,33
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$	[%]	0,16
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$	[%]	32,78
Minimální hodnota x_{min}	[%]	- 21,21
Maximální hodnota x_{max}	[%]	55,26
Mezikvartilové rozpětí R	[%]	32,62
$1,5 \cdot R$	[%]	48,93



Obr. 16 Krabicový graf hodnot změn barvocitu u mužů s kataraktou

Tab. 3 Statistické zpracování hodnot změn barvocitu u mužů s kataraktou

Aritmetický průměr \bar{x}	[%]	15,26
Rozptyl s^2	[%]	22,19
Směrodatná odchylka s	[%]	4,71
Variační koeficient v	[%]	30,87

Z testování homogenity vyplývá, že data jsou homogenní, v měření se nevyskytují žádná vybočující měření. Hodnoty jsou hodně rozptýlené okolo aritmetického průměru, hovoříme o velké variabilitě.

7.3.1.1 Muži před operací katarakty

Tab. 4 Hodnota barvocitu u mužů před operací katarakty

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu před operací [1]
1.	61	56
2.	79	132
3.	62	148
4.	78	152
5.	79	168
6.	76	172
7.	59	180
8.	76	212
9.	76	240
10.	71	248
11.	68	256
12.	66	320
13.	78	464
14.	82	480

Tab. 5 Testování homogenity barvocitu u mužů před operací katarakty

Medián \tilde{x}	[1]	212
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$	[1]	160
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$	[1]	288
Minimální hodnota x_{min}	[1]	132
Maximální hodnota x_{max}	[1]	480
Mezikvantilové rozpětí R	[1]	348
1,5 · R	[1]	522



Obr. 17 Krabicový graf hodnot barvocitu u mužů před operací katarakty

Tab. 6 Statistické zpracování hodnot barvocitu u mužů před operací katarakty

Aritmetický průměr \bar{x}	[1]	244
Rozptyl s^2	[1]	114,15
Směrodatná odchylka s	[1]	10,68
Variační koeficient v	[1]	4,38

Z testování homogenity vyplývá, že data jsou homogenní, v měření se nevyskytují žádná vybočující měření. Směrodatná odchylka ukazuje na vzájemné odlišnosti v souboru zkoumaných čísel a na kolísání hodnot okolo průměrné hodnoty.

7.3.1.2 Muži po operaci katarakty

Tab. 7 Hodnota barvocitu u mužů po operaci katarakty

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu po operaci [1]
1.	78	68
2.	61	104
3.	59	116
4.	62	144
5.	79	160
6.	79	172
7.	76	184
8.	66	184
9.	76	200
10.	68	200
11.	71	204
12.	76	208
13.	82	336
14.	78	436

Tab. 8 Testování homogenity barvocitu u mužů po operaci katarakty

Medián \tilde{x}	[1]	184
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$	[1]	152
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$	[1]	206
Minimální hodnota x_{min}	[1]	68
Maximální hodnota x_{max}	[1]	436
Mezikvartilové rozpětí R	[1]	54
$1,5 \cdot R$	[1]	81



Obr. 18 Krabicový graf hodnot barvocitu u mužů po operaci katarakty

Tab. 9 Statistické zpracování hodnot barvocitu u mužů po operaci katarakty

Aritmetický průměr \bar{x}	[1]	177,2
Rozptyl s^2	[1]	29,76
Směrodatná odchylka s	[1]	5,46
Variační koeficient v	[1]	3,08

Z testování homogenity vyplývá, že všechna data nejsou homogenní. Z krabicové grafu na obr. 18 je zřejmé, že měření 1., 13. a 14. pacienta (viz. tab. 7). jsou mimo regulační meze, jsou vybočující a dále se s nimi nepočítalo. Směrodatná odchylka ukazuje na vzájemné odlišnosti v souboru zkoumaných čísel a na kolísání hodnot okolo průměrné hodnoty. Při porovnání směrodatné odchylky s průměrem je zřejmé, že hodnoty získané po operaci katarakty jsou méně variabilní, než data získaná před operací.

7.3.2 Ženy

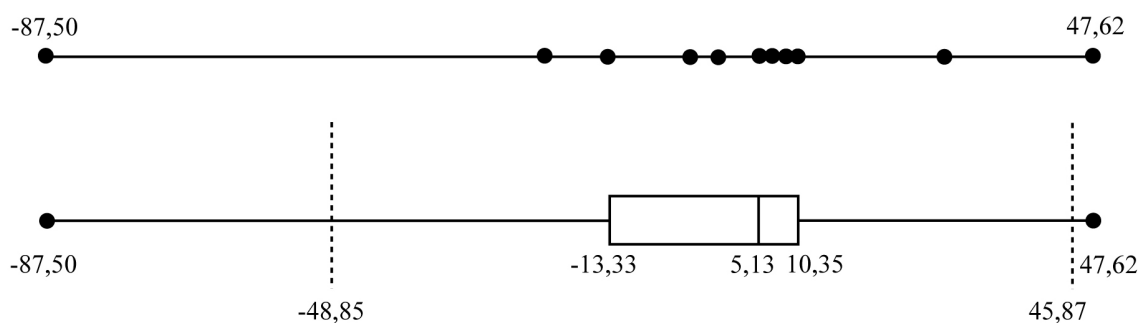
V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty barvocitu před a po operaci katarakty u pacientů ženského pohlaví. Z naměřených hodnot barvocitu před operací a po operaci se vypočítala změna barvocitu v procentech (viz. tab. 10). Z hodnot změn barvocitu před a po operaci se určily veličiny potřebné pro testování homogenity (viz. tab. 11). Z určených dat se dále sestrojil krabicový graf (viz. obr. 19).

Tab. 10 Změna barvocitu u žen s kataraktou

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu před operací [1]	Hodnota barvocitu po operaci [1]	Změna barvocitu [%]
1.	64	40	100	-150,00
2.	78	32	60	-87,50
3.	73	92	112	-21,74
4.	56	312	376	-20,51
5.	72	60	68	-13,33
6.	83	124	128	-3,23
7.	76	176	176	0,00
8.	76	156	148	5,13
9.	75	244	228	6,56
10.	73	80	72	10,00
11.	69	116	104	10,35
12.	73	268	196	26,87
13.	73	84	44	47,62

Tab. 11 Testování homogenity hodnot barvocitu u žen s kataraktou

Medián \tilde{x}	[%]	5,13
Dolní kvartil $x_{0,25}^{\sim}$	[%]	- 13,33
Horní kvartil $x_{0,75}^{\sim}$	[%]	10,35
Minimální hodnota x_{min}	[%]	- 87,50
Maximální hodnota x_{max}	[%]	47,62
Mezikvartilové rozpětí R	[%]	23,68
1,5 · R	[%]	35,52



Obr. 19 Krabicový graf hodnot změn barvocitu u žen s kataraktou

Tab. 12 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen s kataraktou

Aritmetický průměr	\bar{x}	[%]	2,43
Rozptyl	s^2	[%]	13,94
Směrodatná odchylka	s	[%]	3,73
Variační koeficient	v	[%]	153,50

Z testování homogenity vyplývá, že všechna data nejsou homogenní, v měření se vyskytují vybočující měření. Dvě měření byla stanovena jako vybočující, a to hodnoty 2. a 13. pacientky viz. tab. 10. Protože směrodatná odchylka vyšla větší než aritmetický průměr, výsledný variační koeficient je velký. Směrodatná odchylka ukazuje na vzájemné velké odlišnosti v souboru zkoumaných čísel a na velké kolísání hodnot okolo průměrné hodnoty. Při porovnání směrodatné odchylky s průměrem je zřejmé, že mnohonásobně menší variabilitu dat vypočítanou ze změny barvocitu mají pacienti mužského pohlaví.

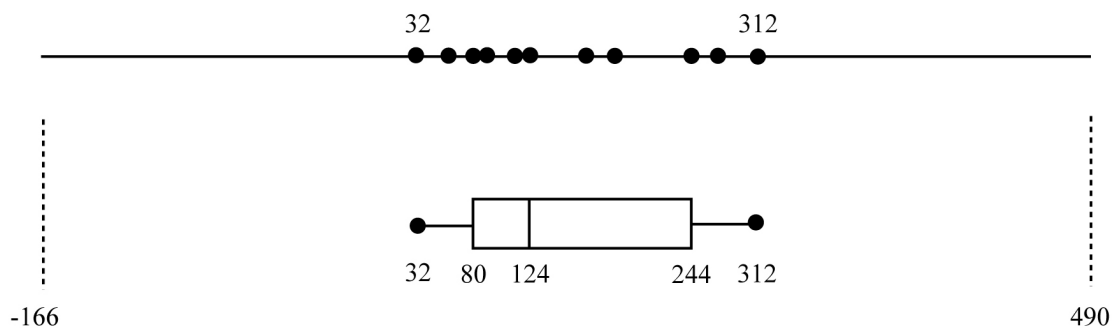
7.3.2.1 Ženy před operací katarakty

Tab. 13 Hodnota barvocitu u žen před operací katarakty

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu před operací [1]
1.	78	32
2.	64	40
3.	72	60
4.	73	80
5.	73	84
6.	73	92
7.	69	116
8.	83	124
9.	76	156
10.	76	176
11.	75	244
12.	73	268
13.	56	312

Tab. 14 Testování homogenity hodnot barvocitu u žen před operací katarakty

Medián \tilde{x}	[1]	124
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$	[1]	80
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$	[1]	244
Minimální hodnota x_{min}	[1]	32
Maximální hodnota x_{max}	[1]	312
Mezikvantilové rozpětí R	[1]	164
$1,5 \cdot R$	[1]	246



Obr. 20 Krabicový graf hodnot barvocitu u žen před operací katarakty

Tab. 15 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen před operací katarakty

Aritmetický průměr \bar{x}	[1]	150,18
Rozptyl s^2	[1]	91,01
Směrodatná odchylka s	[1]	9,54
Variační koeficient v	[1]	6,35

Z testování homogenity vyplývá, že všechna data (viz. tab. 13) jsou homogenní, v měření se nevyskytují vybočující měření (viz. obr. 20) Směrodatná odchylka ukazuje na vzájemné odlišnosti v souboru zkoumaných čísel a na kolísání hodnot okolo průměrné hodnoty. Variabilita je malá. Při porovnání směrodatné odchylky s průměrem je zřejmé, že variabilita hodnot získaných před operací katarakty u mužů je menší, než variabilita dat získaných před operací u žen (viz. tab. 14).

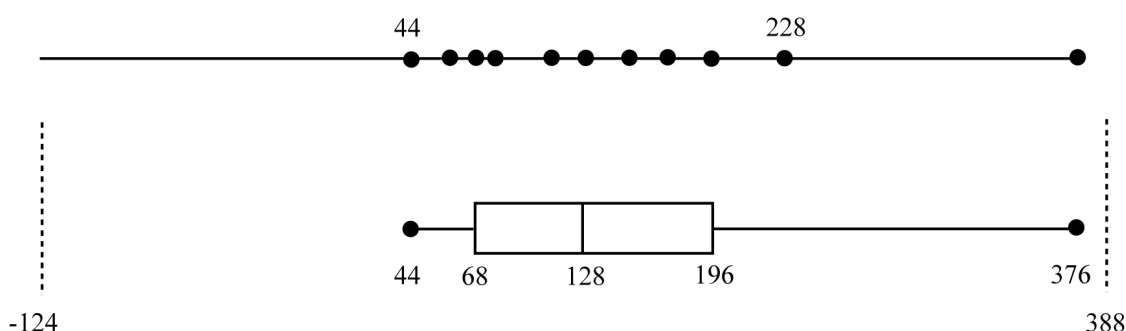
7.3.2.2 Ženy po operaci katarakty

Tab. 16 Hodnota barvocitu u žen po operaci katarakty

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu po operaci [1]
1.	73	44
2.	78	60
3.	72	68
4.	73	72
5.	64	100
6.	69	104
7.	73	112
8.	83	128
9.	76	148
10.	76	176
11.	73	196
12.	75	228
13.	56	376

Tab. 17 Testování homogenity hodnot barvocitu u žen po operaci katarakty

Medián \tilde{x}	[1]	128
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$	[1]	68
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$	[1]	196
Minimální hodnota x_{min}	[1]	44
Maximální hodnota x_{max}	[1]	376
Mezikvartilové rozpětí R	[1]	128
$1,5 \cdot R$	[1]	192



Obr. 21 Krabicový graf hodnot barvocitu u žen po operaci katarakty

Tab. 18 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen po operaci katarakty

Aritmetický průměr \bar{x}	[1]	145,45
Rozptyl s^2	[1]	97,20
Směrodatná odchylka s	[1]	9,86
Variační koeficient v	[1]	6,78

Z testování homogenity vyplývá, že všechna data jsou homogenní (viz. tab. 16 a 17), v měření se nevyskytují vybočující měření (viz. obr. 21). Směrodatná odchylka ukazuje na vzájemné odlišnosti v souboru zkoumaných čísel a na kolísání hodnot okolo průměrné hodnoty. Variabilita je malá. Při porovnání směrodatné odchylky s průměrem je zřejmé, že variabilita hodnot získaných po operaci katarakty u mužů je menší, než variabilita dat získaných po operaci u žen.

7.4 Změna barvocitu u osob z průzkumu

Ve studii rozlišování barev u běžné populace se průzkumu podrobilo 48 respondentů. Hodnotitelé byli vybráni podle věku, aby se získala vypovídající měření barvocitu u mladé i vyzrálé populace. Barvocit se hodnotil zvlášť pro muže a pro ženy. Další kritérium pro hodnocení byl věk, kdy respondenti byly zařazení do skupin do 50 let a nad 50 let. Z celkového počtu respondentů bylo 28 žen (z toho 17 do 50 let) a 20 mužů (z toho 12 do 50 let).

7.4.1 Muži

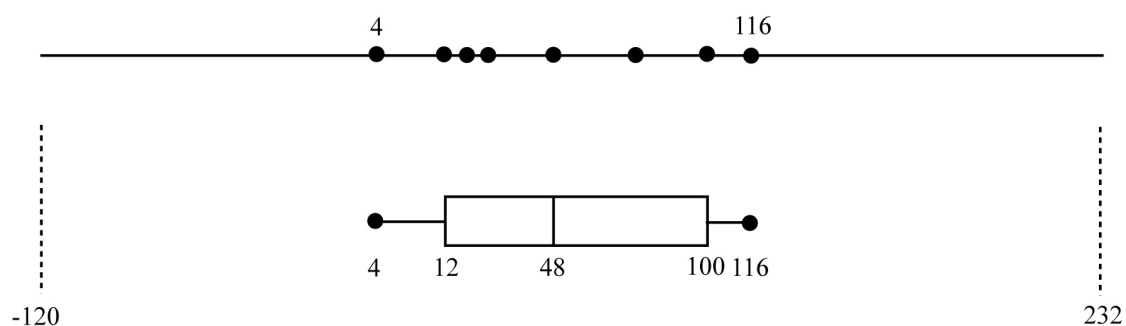
V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty barvocitu u mužů z průzkumu. Z naměřených hodnot barvocitu (viz. tab. 19). se určily veličiny potřebné pro testování homogenity (viz. tab. 20). Z určených dat se dále sestrojil krabicový graf (viz. obr. 22).

Tab. 19 Hodnota barvocitu u mužů do 50 let

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu [1]
1.	34	4
2.	21	12
3.	23	12
4.	20	16
5.	17	24
6.	27	48
7.	46	48
8.	31	76
9.	35	76
10.	17	100
11.	39	100
12.	24	116

Tab. 20 Testování homogenity u mužů do 50 let

Medián \tilde{x}	[1]	48
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$	[1]	12
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$	[1]	100
Minimální hodnota x_{min}	[1]	4
Maximální hodnota x_{max}	[1]	116
Mezikvartilové rozpětí R	[1]	88
$1,5 \cdot R$	[1]	132



Obr. 22 Krabicový graf hodnot barvocitu u mužů do 50 let

Tab. 21 Statistické zpracování hodnot barvocitu u mužů do 50 let

Aritmetický průměr \bar{x}	[1]	52,67
Rozptyl s^2	[1]	39,85
Směrodatná odchylka s	[1]	6,31
Variační koeficient v	[1]	11,98

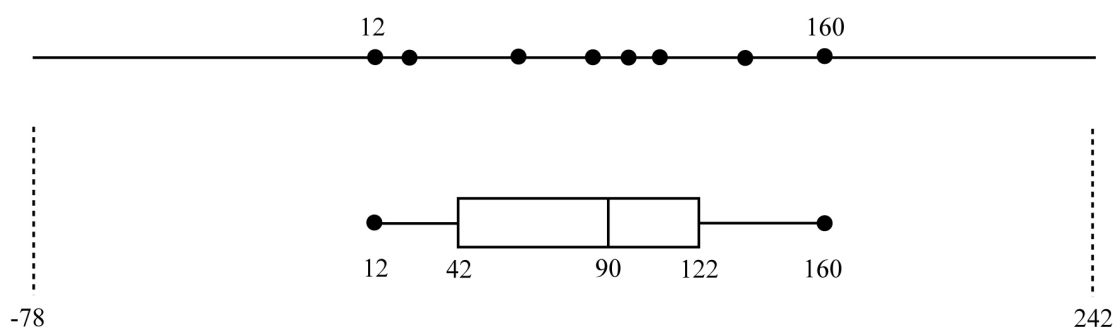
Z testování homogenity vyplývá, že data jsou homogenní, v měření se nevyskytují vybočující měření. Variabilita dat je větší.

Tab. 22 Hodnota barvocitu u mužů nad 50 let

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu [1]
1.	55	12
2.	62	24
3.	69	60
4.	72	84
5.	58	96
6.	63	108
7.	52	136
8.	61	160

Tab. 23 Testování homogenity u mužů nad 50 let

Medián \tilde{x}	[1]	90
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$	[1]	42
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$	[1]	122
Minimální hodnota x_{min}	[1]	12
Maximální hodnota x_{max}	[1]	160
Mezikvartilové rozpětí R	[1]	80
1,5 · R	[1]	120



Obr. 23 Krabicový graf hodnot barvocitu u mužů nad 50 let

Tab. 24 Statistické zpracování hodnot barvocitu u mužů nad 50 let

Aritmetický průměr \bar{x} [1]	85
Rozptyl s^2 [1]	51,48
Směrodatná odchylka s [1]	7,17
Variační koeficient v [1]	8,44

Z testování homogenity vyplývá (viz. tab. 22 a tab. 23), že data jsou homogenní, v měření se nevyskytují vybočující měření. Variabilita dat je malá. Variabilita dat u mužů z průzkumu do 50 let je větší, než variabilita dat u mužů z průzkumu nad 50 let.

7.4.2 Ženy

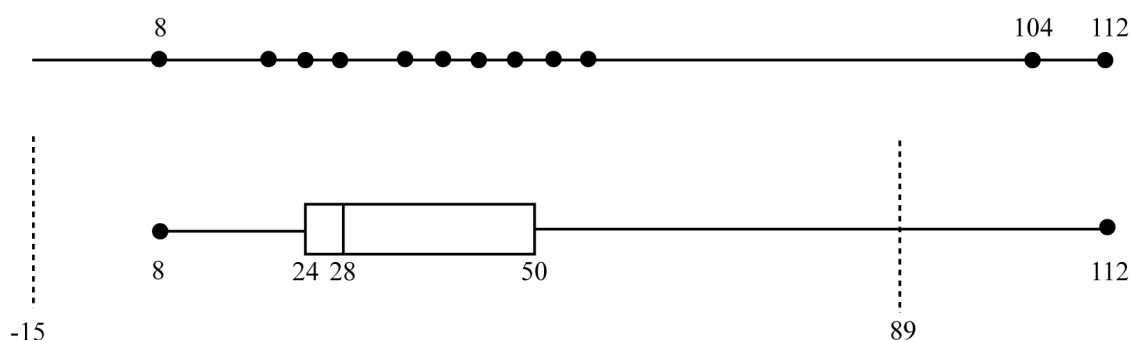
V tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty barvocitu u žen z průzkumu. Z naměřených hodnot barvocitu (viz. tab. 25) se určily veličiny potřebné pro testování homogenity (viz. tab. 26). Z určených dat se dále sestrojil krabicový graf (viz. obr. 24).

Tab. 25 Hodnota barvocitu u žen z průzkumu do 50 let

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu [1]
1.	26	8
2.	21	20
3.	19	24
4.	22	24
5.	26	24
6.	44	24
7.	22	28
8.	28	28
9.	42	28
10.	33	36
11.	25	40
12.	25	44
13.	41	48
14.	35	52
15.	48	56
16.	33	104
17.	41	112

Tab. 26 Testování homogenity u žen do 50 let

Medián \tilde{x} [1]	28
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$ [1]	24
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$ [1]	50
Minimální hodnota x_{min} [1]	8
Maximální hodnota x_{max} [1]	112
Mezikvartilové rozpětí R [1]	26
$1,5 \cdot R$ [1]	39



Obr. 24 Krabicový graf pro hodnoty barvocitu u žen do 50 let

Tab. 27 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen do 50 let

Aritmetický průměr \bar{x} [1]	32,27
Rozptyl s^2 [1]	13,31
Směrodatná odchylka s [1]	3,65
Variační koeficient v [1]	11,31

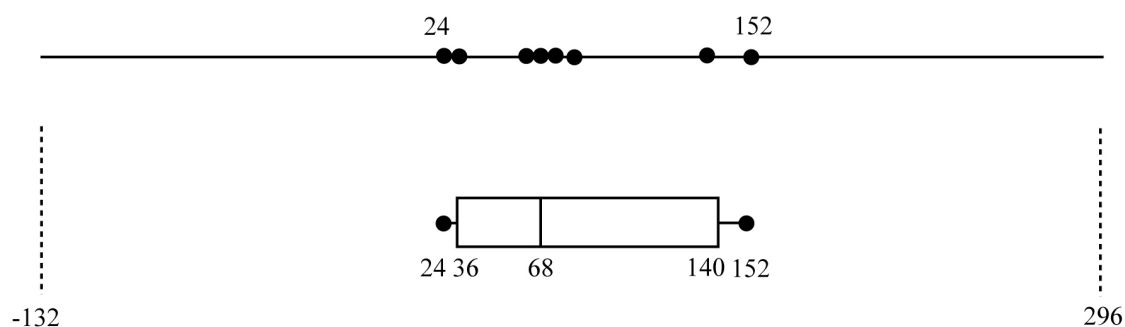
Z testování homogenity vyplývá, že data nejsou homogenní, v měření se vyskytují vybočující měření. Jedná se o osoby s pořadovým číslem 16. a 17. Jejich hodnoty barvocitu leží mimo regulační meze diagramu viz. obr. 24. a není s nimi dále počítáno. Směrodatná odchylka ukazuje na vzájemné odlišnosti v souboru zkoumaných čísel a na kolísání hodnot okolo průměrné hodnoty. Variabilita dat je větší.

Tab. 28 Hodnota barvocitu u žen nad 50 let

P. č.	Věk	Hodnota barvocitu [1]
1.	56	24
2.	55	36
3.	60	36
4.	61	60
5.	70	60
6.	60	68
7.	50	72
8.	58	80
9.	56	140
10.	69	140
11.	79	152

Tab. 29 Testování homogenity u žen nad 50 let

Medián \tilde{x}	68
Dolní kvartil $\tilde{x}_{0,25}$	36
Horní kvartil $\tilde{x}_{0,75}$	140
Minimální hodnota x_{min}	24
Maximální hodnota x_{max}	152
Mezikvartilové rozpětí R	104
1,5 · R	156



Obr. 25 Krabicový graf hodnot barvocitu u žen nad 50 let

Tab. 30 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen nad 50 let

Aritmetický průměr	\bar{x}	[1]	78,91
Rozptyl	s^2	[1]	45,15
Směrodatná odchylka	s	[1]	6,72
Variační koeficient	v	[1]	8,52

Z testování homogenity vyplývá, že data jsou homogenní (viz. tab. 28 a tab. 29), v měření se nevyskytují vybočující měření. Variabilita dat u žen z průzkumu do 50 let je větší, než variabilita dat u žen z průzkumu nad 50 let.

7.5 Výsledky

Celkové zlepšení barvocitu je patrnější u pacientů mužského pohlaví. Průměrná hodnota změny barvocitu před operací a po operaci je u mužů 15,26% a u žen pouze 2,43%. I variační koeficient u mužů je výrazně menší než u žen. U mužů je hodnota variačního koeficientu 30,87% u žen hodnota činí 153,50%. Hodnoty měření jsou především u pacientek hodně rozptýlené okolo aritmetického průměru, hovoříme o velké variabilitě.

U pacientů byla průměrná hodnota barvocitu před operací 244 trestných bodů (variační koeficient 4,38%), po operaci 177,2 (variační koeficient 3,08%). U pacientek byla průměrná hodnota barvocitu před operací 150,18 trestných bodů (variační koeficient 6,35%), po operaci 145,45 (variační koeficient 6,78%). Muži měli výrazné zlepšení hodnot barvocitu a došlo i ke snížení variačního koeficientu. U žen nastalo mírné zlepšení barvocitu, ale naopak zhoršení variačního koeficientu. I přesto mají ženy po operaci lepší schopnost rozlišování barev než muži, a to o 32 trestných bodů.

U žen do 50 let z průzkumu byla průměrná hodnota barvocitu 32 trestných bodů (variační koeficient 11,31%), u žen nad 50 let 79 (variační koeficient 8,52%). U mužů do 50 let z průzkumu byla průměrná hodnota barvocitu 53 trestných bodů (variační koeficient 11,98%), u mužů nad 50 let 85 (variační koeficient 8,44%). Z průzkumu vyplývá, že barvocit do 50 let je výrazně menší, oproti barvocitu nad 50 let, a to jak u žen, tak u mužů. Variační koeficienty jsou menší u osob nad 50 let, než osob do 50 let. Pro závěrečné zhodnocení osob s kataraktou a osob z průzkumu jsou uvažovány jen

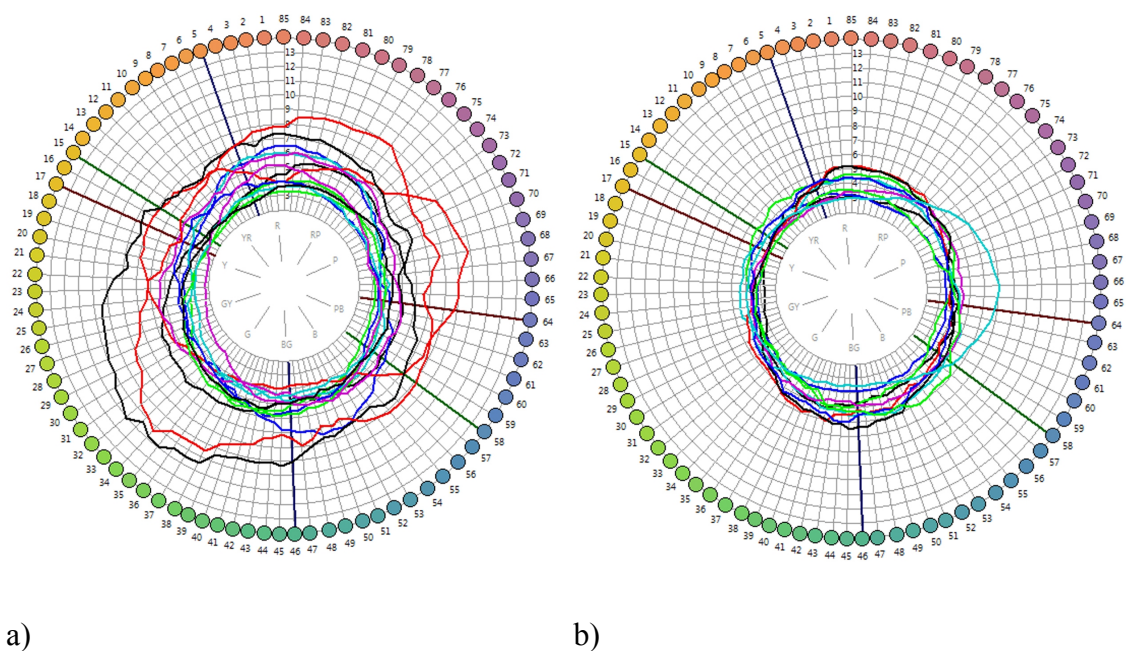
hodnoty subjektů nad 50 let, protože oko postupem věku stárne a tím se snižuje kvalita viděného obrazu. Barvocit mužů nad 50 let z průzkumu je oproti barvocitu mužů po operaci cca 2 x menší. Před operací je rozdíl cca 2,9 x. Barvocit žen nad 50 let z průzkumu je oproti barvocitu žen po operaci cca 1,8 x menší. Před operací je rozdíl cca 1,9 x.

U výsledků barvocitu pacientů je zapotřebí vzít v potaz včasné pooperační měření barvocitu, které se provádělo následující den po operaci. Vhodná doba pooperačního měření je měsíc po operaci. Při včasném pooperačním měření může kolísat zraková ostrost, která souvisí s upevněním čočky ve vaku. Dále výsledky barvocitu u pacientů ovlivňuje možná ztráta mentálních a kognitivních schopností a dovedností v důsledku změn organismu u některých stárnoucích osob.

7.6 Zhodnocení výsledných grafů

Pro výsledné hodnocení grafů pacientů i subjektů z průzkumu se provedlo převedením polárního grafu do křivky pomocí aktivovaného filtru. Grafy jsou rozděleny do skupin: pacienti před operací katarakty, pacienti po operaci katarakty, pacientky před operací katarakty, pacienti po operaci katarakty, muži do 50 let z průzkumu, ženy do 50 let z průzkumu, muži nad 50 let z průzkumu a ženy nad 50 let z průzkumu. Podle jednotlivých výsledků z testování homogenity se vyřadily vybočující měření a do zpracování grafů nebyly použity.

Výsledky všech zkoumaných měření jsou zahrnuty do jednoho grafu v rámci jedné skupiny. V grafech bylo každé měření posuzováno individuálně. Pro jednotlivá měření se stanovila řada pigmentů, ve kterých bylo rozlišování barev nejnižší. Ze stanovených číselných řad, které označují pigmenty, se určil jejich průnik.

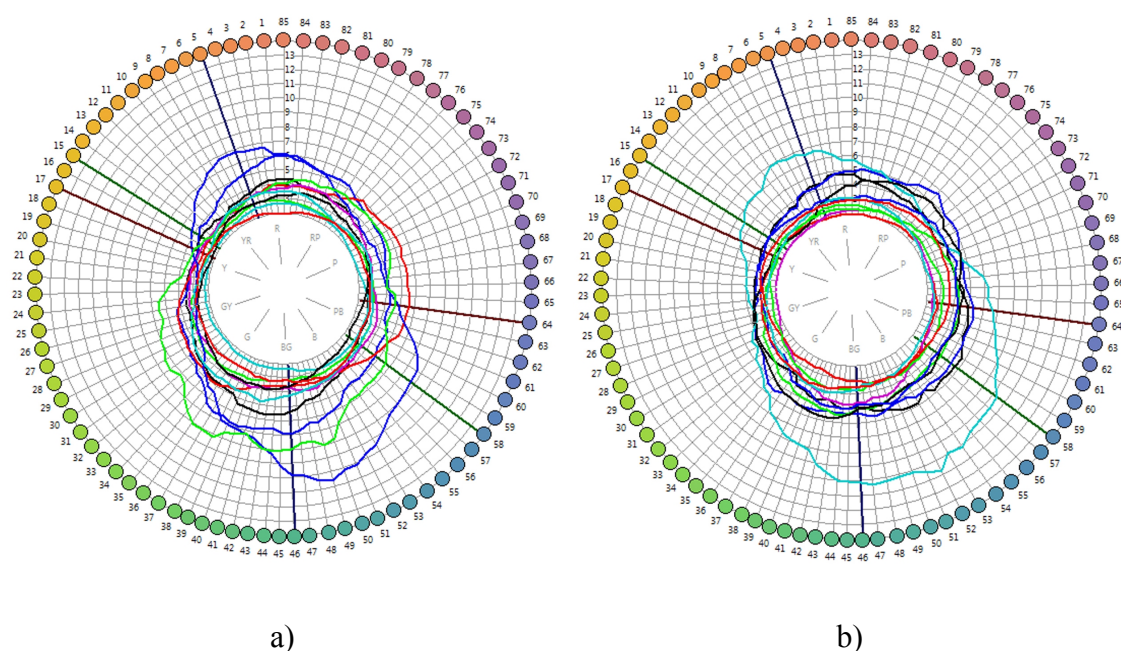


Obr. 26 Graf pacientů před a po operaci katarakty
a) graf pacientů před operací katarakty, b) graf pacientů po operaci katarakty

Data v grafu mužů před operací jsou více rozptýleny, než data v grafu po operaci. V grafu na obr. 26a) se průnikem nejnižších hodnot barvocitu vytyčily kapsle s označenými pigmenty od 39. do 55. Pacient s pořadovým číslem 12. (viz. tab. 4), jako jediný měl minimální hodnoty barvocitu od 57. do 75. pigmentu, do stanoveného intervalu nezasáhl. Dvě měření nepřekrývají v celém rozsahu průnikem určené kapsle. Pacient s pořadovým číslem 9. (viz. tab. 4) do průniku spadá od 39. do 44. pigmentu a pacient s pořadovým číslem 10. (viz. tab. 4) do průniku spadá od 50. do 63. pigmentu. Z dat barvocitu před operací u čtyř pacientů vyplynulo kromě již označeného průniku stejně velké snížení barvocitu i v oblasti 82., 83. a 84. pigmentu.

V grafu na obr. 26b) se průnikem nejnižších hodnot barvocitu vytyčily kapsle s označenými pigmenty od 38. do 51. Nejnižší hodnoty barvocitu se ve stanoveném rozmezí překrývají. Pouze pacient s pořadovým číslem 8. (viz. Tab. 7), do nespádá do intervalu.

Před operací byl nejmenší barvocit u všech mužů v přechodu zelené oblasti do modré, stejně jako u žen. Po operaci se průnik nejmenších hodnot barvocitu posunul v počáteční hodnotě o jednu kapsli a v koncové hodnotě o čtyři kapsle směrem do zelené oblasti.

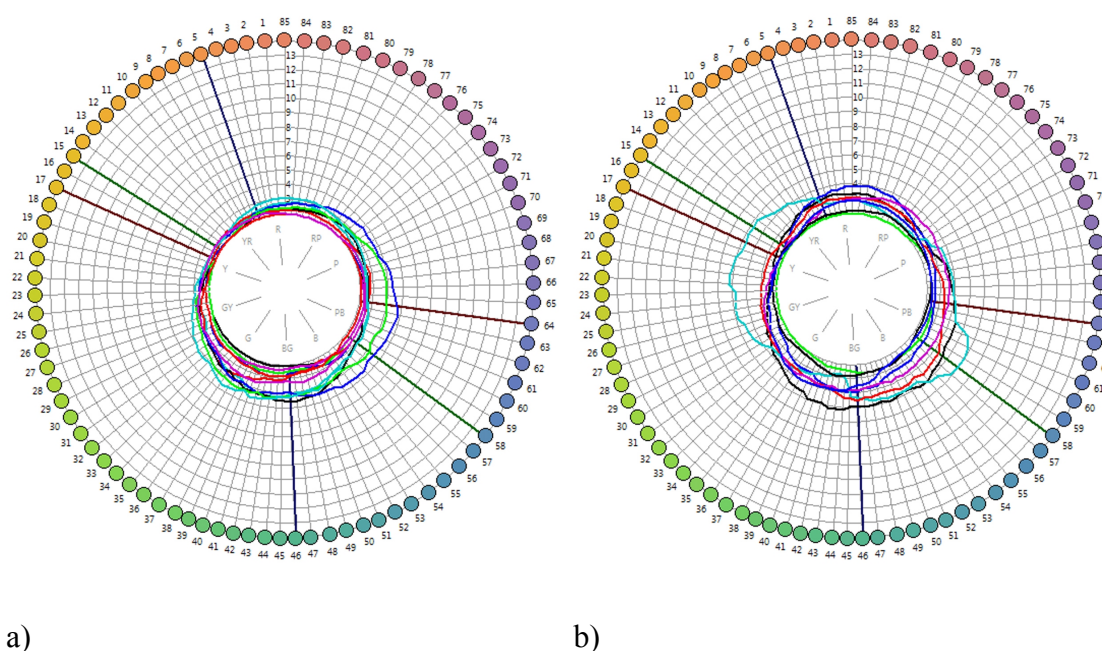


Obr. 27 Graf pacientek před a po operaci katarakty

a) graf pacientek před operací katarakty, b) graf pacientek po operaci katarakty

Data v grafu žen před operací jsou více rozptýleny, než data v grafu po operaci. V grafu na obr. 27a) se průnikem nejnižších hodnot barvocitu vytyčily kapsle s označenými pigmenty od 37. do 51. Dvě měření nepřekrývají v celém rozsahu průnikem určené kapsle. Pacientka s pořadovým číslem 1. (viz. tab. 13) do průniku spadá od 47. do 51. pigmentu a pacientka s pořadovým číslem 10. (viz. tab. 13) do průniku spadá od 37. do 40. pigmentu. Z dat barvocitu před operací u čtyř pacientek vyplynulo kromě již označeného průniku stejně velké snížení barvocitu i v oblasti od 77. do 85. pigmentu. V grafu na obr. 27b) se průnikem nejnižších hodnot barvocitu vytyčily kapsle s označenými pigmenty od 43. do 53. Všechny nejnižší hodnoty se v celém stanoveném rozmezí překrývají.

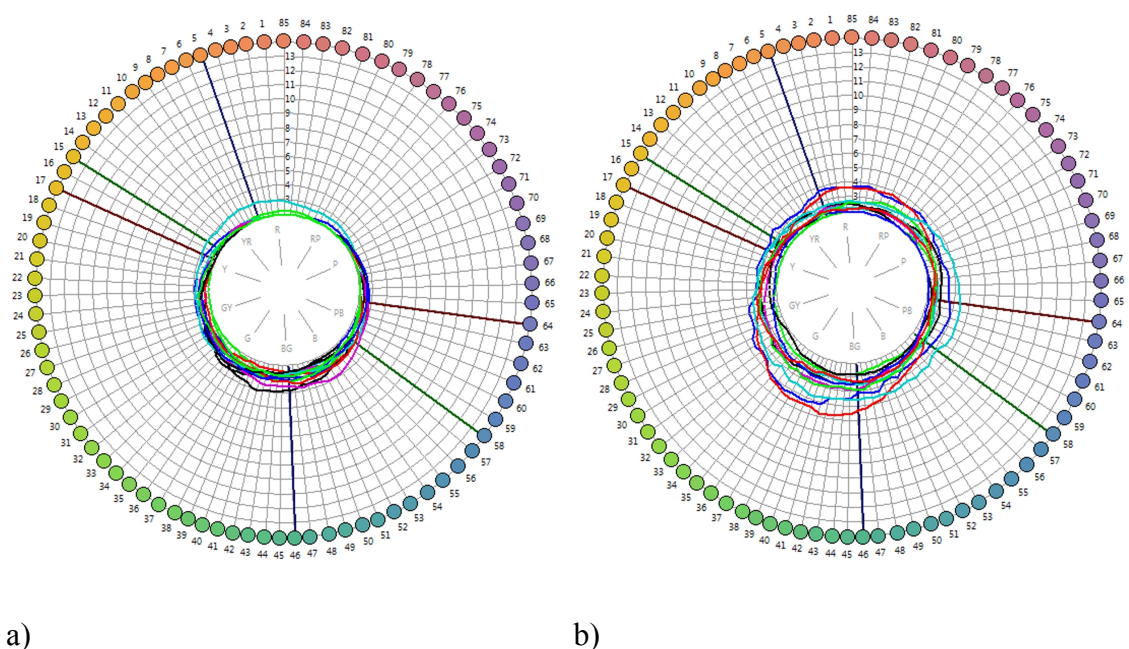
Před operací byl nejmenší barvocit u všech pacientek v přechodu zelené oblasti do modré. Po operaci se průnik nejmenších hodnot barvocitu posunul v počáteční hodnotě o šest kapslí a koncové hodnotě o dvě kapsle směrem do modré oblasti.



Obr. 28 Graf mužů z průřezu
a) graf mužů do 50 let, b) graf mužů nad 50 let

Hodnoty rozlišování barev u mužů do 50 let a mužů nad 50 let jsou méně rozptýlena, než data pacientů i pacientek před i po operaci. V grafu na obr. 28a) se průnikem nejnižších hodnot barvocitu vytyčily kapsle s označenými pigmenty od 41. do 47. Tři měření nepřekrývají v celém rozsahu průnikem určené kapsle. Muž s pořadovým číslem 1. (viz. tab. 28) do průniku nespadá. Jeho barvocit byl vynikající, došlo k záměně 58. a 59. pigmentu. Dále muž s pořadovým číslem 2. (viz. tab. 28) do průniku spadá pouze 37. pigment. Jeho barvocit byl vynikající, došlo k záměně pigmentu 28. za 29, 37. za 38. a 57. za 58.

V grafu na obr. 28b) se průnikem nejnižších hodnot barvocitu vytyčily kapsle s označenými pigmenty od 45. do 49. Nejnižší hodnoty barvocitu se ve stanoveném rozmezí překrývají. Pouze jedno měření nepřekrývá rozsah. Muž s pořadovým číslem 8. (viz. tab. 22) do průniku nespadá, muž má nízkou rozlišovací schopnost. Jeho záměny barev se s ostatními subjekty neshodují.



Obr. 29 Graf žen z průzkumu
a) graf žen do 50 let, b) graf žen nad 50 let

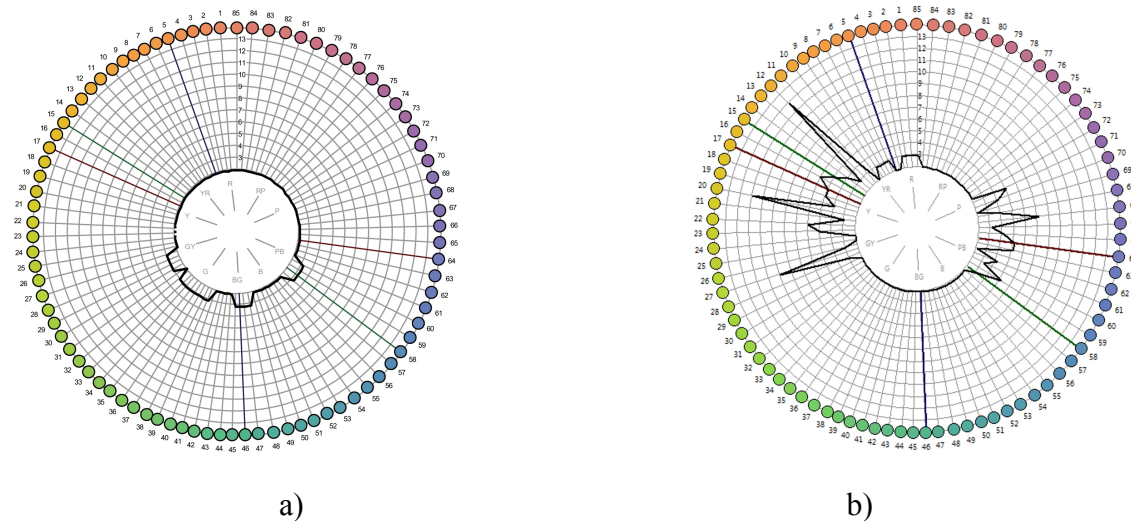
Hodnoty rozlišování barev u žen do 50 let a žen nad 50 let jsou méně rozptýlena, než data pacientů i pacientek před i po operaci. V grafu na obr. 29a) se průnikem nejnižších hodnot barvocitu vytyčily kapsle s označenými pigmenty od 37. do 49. Pět měření nepřekrývají v celém rozsahu průnikem určené kapsle. Žena s pořadovým číslem 2. (viz. tab. 25) do průniku spadá od 37. do 45. pigmentu, žena s pořadovým číslem 8. (viz. tab. 25) do průniku spadá od 48. a 49. pigmentem, žena s pořadovým číslem 14. (viz. tab. 25) do průniku spadá až od 41. pigmentu a žena s pořadovým číslem 15. (viz. tab. 25) do průniku spadá jen 37. pigmentem.

V grafu na obr. 29b) se průnikem nejnižších hodnot barvocitu vytyčily kapsle s označenými pigmenty od 34. do 49. Nejnižší hodnoty barvocitu se ve stanoveném rozmezí překrývají. Pouze jedno měření nepřekrývá v celém rozsahu průnikem určené kapsle. Žena s pořadovým číslem 5. (viz. tab. 19) do průniku spadá 34. a 35. pigmentem a dále od 43. do 49 pigmentu.

U žen do 50 let byl nejmenší barvocit v zelené oblasti. U žen nad 50 let se průnik hodnot barvocitu zvětšil o 4 pigmenty směrem do zelené oblasti.

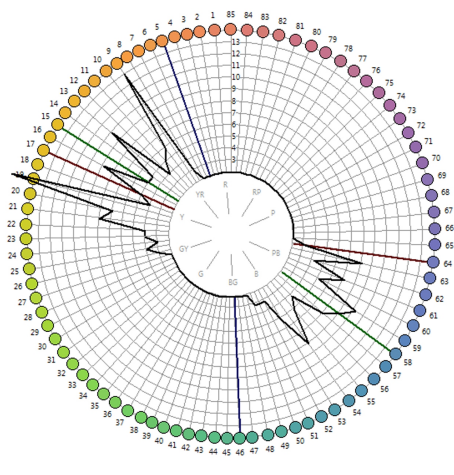
7.7 Porovnání výsledků vad barvocitu

Výsledky vad barvocitu se porovnávaly s daty získanými u osob s kataraktou i osob s bezdefektním vnímáním barev. FM 100 Hue Test nezařadil žádného hodnotitele přímo do typických barvocitových vad. Ve výsledcích měření se nevyskytují typické příznaky vad, hodnotitelé jsou zařazeni do klasifikačních skupin podle nízké, průměrné nebo vynikající schopnosti rozlišení barev. U pacientů je podezření u jednoho muže na vadu barvocitu. U muže ve věku 70 let, který má nízkou rozlišovací schopnost je podezření na deuteranopii (viz. Obrazová příloha, obr. 56). Z dat barvocitu získaných u osob z průzkumu je podezření u jednoho muže ve věku 61 let na vadu protanopie a deuteranopie. Muž má nízkou rozlišovací schopnost. V níže uvedených grafech je pro srovnání polární graf pozorovatele s bezdefektním vnímáním barev (viz. obr. 30 a) a pozorovatelů s definovanou vadou protanopie (viz. obr. 30 b), deuteranopie (viz. obr. 31 a) a tritanopie (viz. obr. 31 b).

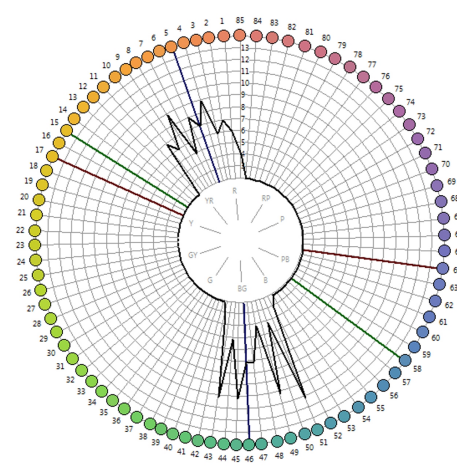


Obr. 30 Polární grafy bezdefektního a defektního vnímání barev

a) Polární graf pozorovatele s bezdefektním vnímáním barev, věk 21 let, průměrná rozlišovací schopnost, chybné skóre 20, b) Polární graf pozorovatele s vadou barvocitu typu protanopie, průměrná rozlišovací schopnost, chybné skóre 92 [31]



a)



b)

Obr. 31 Polární grafy defektního vnímání barev

a) Polární graf pozorovatele s vadou barvocitu typu deuteranopie, nízká rozlišovací schopnost, chybné skóre 132, b) Polární graf pozorovatele s vadou barvocitu typu tritanopie, nízká rozlišovací schopnost, chybné skóre 104 [31]

8 Program Color Vision Filter

Program má význam především pro osoby s nízkou rozlišovací schopností barev. Do programu se nahrají data z FM 100 Hue testu (číselné pořadí záměny barev). Pomocí tlačítka Open Image otevře požadovaný obrázek, který chceme přetransformovat. Stiskem tlačítka Apply Results se provede transformace a objeví se obrázek s pozměněnými barvami. Vlevo je náhled původní scény, vpravo pozměněné. Změnu scény lze uložit pomocí ikony Save Image.

Program bylo možné vytvořit za laskavé spolupráce Ing. Víta Jonáše. Program je zhotovený v MS .NET 3.5 v jazyce C#. Uživatelské rozhraní je vytvořené prostřednictvím WPF.

8.1.1 Oblasti záměny barev

Na základě zadaných výsledků FM100 Hue testu program vyhodnotí oblasti záměny barev, tedy oblasti ve kterých testovaná osoba nerozlišuje odstíny. Pro modelování se předpokládá normální vnímání barev testovaných osob, neberou se v úvahu vady vnímání barev (monochromatická, dichromatická atd.). Význam má především pro osoby s nízkou rozlišovací schopností barev.

Oblasti se určují následujícím postupem:

1. Prochází se postupně čísla vzorků.
2. Jakmile se narazí na vzorek, který je umístěný na nesprávné pozici a dosud se nevyhodnocuje oblast záměny, vybere se vzorek, který měl být na dané pozici správně, jako jedna hranice oblasti záměny. Zároveň se do seznamu uloží číslo správného a nesprávně umístěného vzorku.
3. Pokračuje se v procházení vzorků a udržuje se seznam nesprávně umístěných vzorků. Vždy když se liší očekávaný vzorek od umístěného, se nejdříve zkontroluje obsah seznamu. Pokud se čísla očekávaného nebo umístěného vzorku v seznamu vyskytují jsou odstraněna, pokud nevyskytují, jsou začleněna. Jakmile se seznam vyprázdní, aktuálně očekávaný vzorek označuje druhou hranici záměny. Postup se opakuje od následujícího vzorku.

Příklady výpočtů oblastí záměn.

Pořadí kapslí: 85, 2, 1, 4, 3, 5, ...

1. krok: očekávaný 85, skutečný 85, nic se neděje
2. krok: očekávaný 1, skutečný 2 je špatně: první hranice oblasti se nastaví na 1, do seznamu se přidá 1 a 2
3. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 2, skutečný 1 je špatně: v seznamu se 1 i 2 vyskytuje, oba odstraníme. Seznam je prázdný tedy druhá hranice záměny je 2
4. krok: očekávaný 3, skutečný 4 je špatně: první hranice oblasti se nastaví na 3, do seznamu se přidá 3 a 4
5. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 4, skutečný 3 je špatně: v seznamu se 3 i 4 vyskytuje, oba odstraníme. Seznam je prázdný tedy druhá hranice záměny je 4
6. krok: očekávaný 5, skutečný 5, nic se neděje
7. ...

Oblasti záměny jsou tedy 1-2 a 3-4

Pořadí kapslí: 85, 2, 4, 1, 3, 5, ...

1. krok: očekávaný 85, skutečný 85, nic se neděje
2. krok: očekávaný 1, skutečný 2 je špatně: první hranice oblasti se nastaví na 1, do seznamu se přidá 1 a 2
3. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 2, skutečný 4 je špatně: v seznamu se vyskytuje 2 a nevyskytuje 4, odstraníme tedy 2 ze seznamu a přidáme 4. Seznam obsahuje 1 a 4
4. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 3, skutečný 1 je špatně: v seznamu se vyskytuje 1 a nevyskytuje 3, odstraníme tedy 1 ze seznamu a přidáme 3. Seznam obsahuje 3 a 4
5. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 4, skutečný 3 je špatně: v seznamu se 3 i 4 vyskytuje, oba odstraníme. Seznam je prázdný tedy druhá hranice záměny je 4
6. krok: očekávaný 5, skutečný 5, nic se neděje
7. ...

Oblasti záměny jsou tedy 1-4

Pořadí kapslí: 7, 2, 4, 1, 3, 5, 6, 85, 8...

1. krok: očekávaný 85, skutečný 7, je špatně: první hranice oblasti se nastaví na 85, do seznamu se přidá 85 a 7
2. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 1, skutečný 2 je špatně: seznam neobsahuje ani 1 ani 2, do seznamu se tedy přidá 1 a 2, Seznam obsahuje 85, 1, 2, 7
3. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 2, skutečný 4 je špatně: v seznamu se vyskytuje 2 a nevyskytuje 4, odstraníme tedy 2 ze seznamu a přidáme 4. Seznam obsahuje 85, 1, 4, 7
4. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 3, skutečný 1 je špatně: v seznamu se vyskytuje 1 a nevyskytuje 3, odstraníme tedy 1 ze seznamu a přidáme 3. Seznam obsahuje 85, 3, 4, 7
5. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 4, skutečný 3 je špatně: v seznamu se 3 i 4 vyskytuje, oba odstraníme. Seznam obsahuje 85, 7
6. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 5, skutečný 5, nic se neděje
7. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 6, skutečný 6, nic se neděje
8. krok: jsme v oblasti záměny, očekávaný 7, skutečný 85 je špatně: v seznamu se 7 i 85 vyskytuje, oba odstraníme. Seznam je prázdný tedy druhá hranice záměny je 7
9. krok: očekávaný 8, skutečný 8, nic se neděje
10. ...

Oblasti záměny jsou tedy 1-7

8.1.2 Zpracování barev

Jednotlivé vzorky z FM100 Hue testu jsou převedeny na číslo vyjadřující odpovídající poměr RGB složek pro plně sytou a jasnou dominantní složku. Jednotlivé barvy pixelů obrázku jsou nejdříve převedeny také na číslo vyjadřující odpovídající poměr RGB složek pro plně sytou a jasnou dominantní složku. Pro každou oblast záměny je z obrázku vytvořen histogram a vybráno dominantní číslo barvy, které se z oblasti záměny v obrázku vyskytuje nejčastěji. Všem pixelům v obrázku, u kterých číslo barvy

spadá do některé oblasti záměny je přiřazeno dominantní číslo barvy oblasti. Náhradní barva pixelu je pak určena přiřazeným číslem barvy, která je upravena podle sytosti a jasů původní barvy. Na závěr je ještě dorovnána iluminance barvy (subjektivní vnímání jasů okem).

8.1.3 Možná vylepšení

Program nyní počítá histogram a určuje dominantní barvy pro celý obrázek. Pokud se tedy v obrázku vyskytují části s barvami z jedné oblasti záměny, které mají každá uvnitř podobné barvy, ale vzájemně velmi odlišné, může dojít k nevhodné záměně barev.

Zde by bylo nutné určit tzv. lokální přístup, kde pro různé části obrázku se pro danou oblast určí jiná dominantní barva.

Program by se dal rozšířit tak, že místo přímé záměny oblasti barev jednou dominantní barvou by nahrazoval více barvami vybranými podle velikosti chyby příslušných vzorků z testu.

Někdy může důsledkem nahrazení barev vzniknout výrazná tzv. pixelizace obrázku. Ta by se dala odstranit tzv. antialiasingem jasů a sytosti pixelů u kterých k náhradě došlo.

Program by bylo možné upravit do podoby zásuvného modulu (plugin) Photoshopu. To vyžaduje znalost programového rozhraní Photoshopu.

8.1.4 Zhodnocení

Pro běžnou orientaci v přirozeném prostředí nemá nízká rozlišovací schopnost barev (pokud není způsobena vadou vnímání barev) rozhodující význam. Na denním osvětlení nahradí nízkou barevnou rozlišovací schopnost rozlišení jasů a sytosti barev. Z hlediska designu nízká rozlišovací schopnost barev vliv má. Může výrazně ovlivnit estetický dojem především u barevných vzorů, obrazů, fotografií apod., které obsahují velké množství odstínů jen několika málo barev.

8.1.5 Další možnosti a doporučení pro simulace vad barvocitu

Další možnou úpravou programu Color Vision Filter je vyrobít zásuvný modul pro program Adobe Photoshop. Pro vytvoření takového modulu je nutné znát rozhraní zásuvných modulů programu Adobe Photoshop a zdrojové kódy programu, které jsou součástí přílohy.

Adobe Photoshop je bitmapový grafický editor, který umožňuje uživateli

prostřednictvím grafického rozhraní tvorbu a úpravu bitmapové grafiky. Bitmapové obrazy jsou založeny na mřížce barev. Každému bodu mřížky (pixelu) je přiřazeno specifické umístění a hodnota barvy. [23]

Režim barvy určuje barevný model, který slouží pro zobrazení a tisk obrazů. V programu Adobe Photoshop jsou barevné režimy založeny na zavedených barevných modelech pro popis a reprodukci barev. Barevné režimy ovlivňují počet zobrazených barev v obrazu a velikost obrazu. Běžné modely jsou: HSB (hue – odstín, saturation – sytost, brightness – jas), RGB (red- červená, green – zelená, blue – modrá), CMYK (cyan – azurová, magenta – purpurová, yellow – žlutá, black – černá) a CIE L*a*b.

Photoshop dále obsahuje režimy pro barevný specializovaný výstup, jakým jsou indexované barvy a duplexy.[24]

Závěr

Hlavními výstupy práce jsou měření a vyhodnocení rozlišování barev osob s kataraktou pomocí FM 100 Hue testu a počítačový program, který výsledky měření používá na úpravu obrázků do podoby, jakou by měly měřené osoby vnímat. Vyhodnocení prováděných měření indikuje zlepšení vnímání barev po operativním léčení katarakty.

Z měření také vyplývá nejčastěji se vyskytující oblast záměn barev. Jedná se o odstíny modro zelené a těmto barvám by se tedy měly osoby s kataraktou vyhýbat. Výraznější zlepšení ve vnímání barev po operaci nastalo u mužů, u kterých se oblasti s největšími záměnami barev posunuly do zelené oblasti, zlepšení nastalo i v modré oblasti barev. U žen nastalo zlepšení naopak v zelených barvách a oblasti s největšími záměnami barev se posunuly více do modré oblasti.

U průzkumu a měření osob, které kataraktou netrpí, byla nejnižší schopnost rozlišit barvy v zelené oblasti. Při měření osob ze všech skupin se ukázalo, že obecně v zelené oblasti dochází k největším záměnám barev. Během měření se nevyskytla jediná osoba, která by jednoznačně vykazovala výsledky testu typické pro vady vnímání barev.

Realizovaný program Color Vision Filter lze použít pro simulaci nízkého rozlišování barev a může být pomůckou pro návrháře, kteří tak získají lepší představu jak osoby s méně kvalitním barvocitem vidí. Navíc změřený vliv operace katarakty dává vodítko, aby návrháři počkali s prací až na dobu po operaci a zotavení postižených zákazníků. Zdrojová podoba programu je součástí práce a celý program je uvolněn pod svobodnou licenci. Je tedy možné ho bez omezení dále rozvíjet a používat. V této práci vytvořené postupy pro zpracování obrazu nejsou dosud dostatečně ověřeny a rozvinuty. Otevírá se tak možnost dalších prací pro zkoumání a simulování vnímání barev ať už pro účely designu tak v lékařství.

Tvorba diplomové práce mě přivedla k zamyšlení, jak obtížná je integrace osob se sníženým barvocitem do běžného způsobu života. Úkoly, které jsou pro nás samozřejmostí, jsou pro některé osoby těžko zvládnutelnou překážkou. Doufám, že výsledek této práce pomůže při vzájemné spolupráci návrháře a osoby s omezeným vnímáním barev.

Literatura

- [1] Synek, S., Skorkovská, Š.: Fyziologie oka a vidění. Praha: Grada Publishing, a. s., 2004. 104s.
- [2] Kvapílková, K.: Anatomie a embryologie oka. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. 206s.
- [3] Mareš, P.: Oko jako optický systém, Elektronická přednáška. Liberec: Krajská nemocnice, 2011. 35s.
- [4] Kvapílková, K.: Přehled chorob zrakového ústrojí. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. 57s.
- [5] Kraus, H., Karel, I., Růžicková, E.: Oční zákaly. Praha: Grada Publishing, spol. s. r. o., 2001. 156s.
- [6] Staněk, J.: Vizuální fotometrie a fyziologická optika. Praha: SNTL, 1980. 160s.
- [7] Mělka, J.: Nárys fyziologie a pathofyziologie smyslů. Praha: Zdravotnické nakladatelství Společnosti čs. lékařů, 1950. 276s.
- [8] Kraus, H., a kolektiv.: Kompendium očního lékařství. Praha: Grada Publishing, spol. s. r. o., 1997. 360s.
- [9] Otradovec, J.: Klinická neurooftalmologie. Praha: Grada Publishing, a. s., 2003. 504s.
- [10] Buchtelová, R., Confortiová, H., Červená, V., Hovorková, M., Churavý, M., Kraus, J., Kroupová, L., Ludvíková, M., Machač, J., Mejstřík, V., Petráčková, V., Poštolková, B., Roudný, M., Schiedtová, V., Šroufková, M., Ungermann, V.: Akademický slovník

cizích slov. Praha: AV ČR, 2000. 834s.

[11] Vik, M.: Základy měření barevnosti, I. díl, Skriptum TU. Liberec, 2005. 109s.

[12] Autrata, R. Černá, J.: Nauka o zraku. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2006. 226s.

[13] Viková, M.: Textilní fyzika. Elektronické skriptum TU. Liberec.

[14] Mollon, J. D., Pokorny, J., Knoblauch, K.: Normal and Defective Colour Vision, Oxford University Press, 2003. 422s.

[15] Valberg, A.: Light Vision Color, John Wiley & Sons Inc., 2005. 462s.

[17] Bassi, C. J., Galanis, J. C., Hoffman, J.: Comparison of the Farnsworth – Munsell 100 – Hue. The Farnsworth D – 15, and the L'Anthony D – 15 Desaturated Color Tests, 1993. 3s.

[16] Breton, M. E., Tansley, B. V.: Improved Color Test Results With Large – Field Viewing in Dichromats, 1985. 6s.

[19] Macbeth Lighting x – rite Judge II Operation Manual, 10s.

[20] Veličkovskij, B. M., Zinčenko, V. P., Lurija, A. R.: Psychologie vnímání. Praha: SNP, 1979. 179s.

[21] Macháček, P.: Osvětlení a slabozrakost: jak správně svítit a vytvořit vhodné podmínky pro slabozrakého člověka. Praha: Tyfloservis, 2002. 48s.

[22] Šporová, L., Macháček, P.: Cvičná kuchyň pro osoby se zrakovým postižením. Karlovy Vary: Tyfloservis, 2009. 13s.

[23] Pácl, L.: Adobe Photoshop 6.0: oficiální výukový kurz. Brno: SoftPress. 2001.460s

[24] file:///C:/Program Files (x86)/Adobe/Photoshop 7.0 CE/Help CZ/Help.html
30.3.2011

[25] Server zrak 11.02.2011. [online]. Dostupné z:
<http://www.zrak.cz/refrakcni-vady/kratkozrakost/katarakta.html>

[26] 25.02.2011 [online]. Dostupné z:
file:///C:/Users/Yvetka/Desktop/FM 100 Hue test Scoring software v
3.0/Help/English/html/ index.htm

[27] Server nemlib 04.03.2011 [online]. Dostupné z:
http://www.nemlib.cz/web/index.php?menu=1_33_14_113_66

Seznam obrázků

- Obr. 1 Oční bulbus
- Obr. 2 Senilní a traumatická katarakta
- Obr. 3 Odstranění zkalené čočky
- Obr. 4 Postup při fakoemulzifikaci
- Obr. 5 Typy umělých nitroočních čoček a způsob vložení do čočkového pouzdra
- Obr. 6 Světlo lámané rohovkou nebo rohovkou a umělou nitrooční čočkou
- Obr. 7 Porovnání normálního vidění a vidění s kataraktou
- Obr. 8 Prostup světelných paprsků u sob s normálním viděním a osob s kataraktou
- Obr. 9 Farnsworth – Munsell 100 Hue Test
- Obr. 10 Kolorimetrická skříň GretagMacbeth Judge II
- Obr. 11 Výchozí obrazovka FM Hue Test Scoring Softwaru
- Obr. 12 Polární graf se znázorněnými chybami
- Obr. 13 Polární graf proložený křivkou
- Obr. 14 Lineární graf se znázorněnými chybami
- Obr. 15 Lineární graf proložený křivkou
- Obr. 16 Krabicový graf hodnot změn barvocitu u mužů s kataraktou
- Obr. 17 Krabicový graf hodnot barvocitu u mužů před operací katarakty
- Obr. 18 Krabicový graf hodnot barvocitu u mužů po operaci katarakty
- Obr. 19 Krabicový graf hodnot změn barvocitu u žen s kataraktou
- Obr. 20 Krabicový graf hodnot barvocitu u žen před operací katarakty
- Obr. 21 Krabicový graf hodnot barvocitu u žen po operaci katarakty
- Obr. 22 Krabicový graf hodnot barvocitu u mužů do 50 let
- Obr. 23 Krabicový graf hodnot barvocitu u mužů nad 50 let
- Obr. 24 Krabicový graf pro hodnoty barvocitu u žen do 50 let
- Obr. 25 Krabicový graf hodnot barvocitu u žen nad 50 let
- Obr. 26 Graf pacientů před a po operaci katarakty
- Obr. 27 Graf pacientek před a po operaci katarakty
- Obr. 28 Graf mužů z průzkumu
- Obr. 29 Graf žen z průzkumu
- Obr. 30 Polární grafy bezdefektního a defektního vnímání barev
- Obr. 31 Polární grafy defektního vnímání barev

Seznam tabulek

- Tab. 1 Změna barvocitu u mužů s kataraktou
- Tab. 2 Testování homogenity hodnot barvocitu u mužů s kataraktou
- Tab. 3 Statistické zpracování hodnot změn barvocitu u mužů s kataraktou
- Tab. 4 Hodnota barvocitu u mužů před operací katarakty
- Tab. 5 Testování homogenity barvocitu u mužů před operací katarakty
- Tab. 6 Statistické zpracování hodnot barvocitu u mužů před operací katarakty
- Tab. 7 Hodnota barvocitu u mužů po operaci katarakty
- Tab. 8 Testování homogenity barvocitu u mužů po operaci katarakty
- Tab. 9 Statistické zpracování hodnot barvocitu u mužů po operaci katarakty
- Tab. 10 Změna barvocitu u žen s kataraktou
- Tab. 11 Testování homogenity hodnot barvocitu u žen s kataraktou
- Tab. 12 Statistické zpracování hodnot změn barvocitu u žen s kataraktou
- Tab. 13 Hodnota barvocitu u žen před operací katarakty
- Tab. 14 Testování homogenity hodnot barvocitu u žen před operací katarakty
- Tab. 15 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen před operací katarakty
- Tab. 16 Hodnota barvocitu u žen po operaci katarakty
- Tab. 17 Testování homogenity hodnot barvocitu u žen po operaci katarakty
- Tab. 18 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen po operaci katarakty
- Tab. 19 Hodnota barvocitu u mužů do 50 let
- Tab. 20 Testování homogenity u mužů do 50 let
- Tab. 21 Statistické zpracování hodnot barvocitu u mužů do 50 let
- Tab. 22 Hodnota barvocitu u mužů nad 50 let
- Tab. 23 Testování homogenity u mužů nad 50 let
- Tab. 24 Statistické zpracování hodnot barvocitu u mužů nad 50 let
- Tab. 25 Hodnota barvocitu u žen z průzkumu do 50 let
- Tab. 26 Testování homogenity u žen do 50 let
- Tab. 27 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen do 50 let
- Tab. 28 Hodnota barvocitu u žen nad 50 let
- Tab. 29 Testování homogenity u žen nad 50 let
- Tab. 30 Statistické zpracování hodnot barvocitu u žen nad 50 let

Seznam příloh

Obrazová příloha

Polární grafy mužů před operací a po operaci katarakty. 14s.

Polární grafy žen před operací a po operaci katarakty. 13s.

Polární grafy mužů před operací katarakty. 2s.

Polární graf ženy před operací katarakty. 1s.

Polární grafy mužů z průzkumu do 50 let. 6s.

Polární grafy mužů z průzkumu nad 50 let. 4s.

Polární grafy žen z průzkumu do 50 let. 9s.

Polární grafy žen z průzkumu nad 50 let. 6s.

Zásuvný modul

Samostatná příloha na cd.

Programovací kód zásuvného modulu

Samostatná příloha na cd.